

Perception de densités stochastiques

Un essai de généralisation du modèle probabiliste
des mécanismes perceptifs proposé par Jean Piaget

THESE

présentée à l'Ecole de psychologie et des sciences
de l'Education de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de docteur en psychologie,
mention psychologie génétique

par

Alberto MUNARI

de

MILAN (Italie)

Thèse No 30

GENEVE
Editions Médecine et Hygiène
1974

Perception de densités stochastiques

Un essai de généralisation du modèle probabiliste
des mécanismes perceptifs proposé par Jean Piaget

THESE

présentée à l'Ecole de psychologie et des sciences
de l'Education de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de docteur en psychologie,
mention psychologie génétique

par

Alberto MUNARI

de

MILAN (Italie)

Thèse No 30

GENEVE
Editions Médecine et Hygiène
1974

L'Ecole de psychologie et des sciences de l'éducation, sur le préavis d'une commission formée de Messieurs Jean Piaget, Vinh Bang et François Bresson, autorise l'impression de la présente thèse intitulée "Perception de densités stochastiques", sans exprimer d'opinion sur les propositions qui y sont énoncées.

Genève, le 10 juillet 1973

Vinh Bang
Président

Thèse No 30



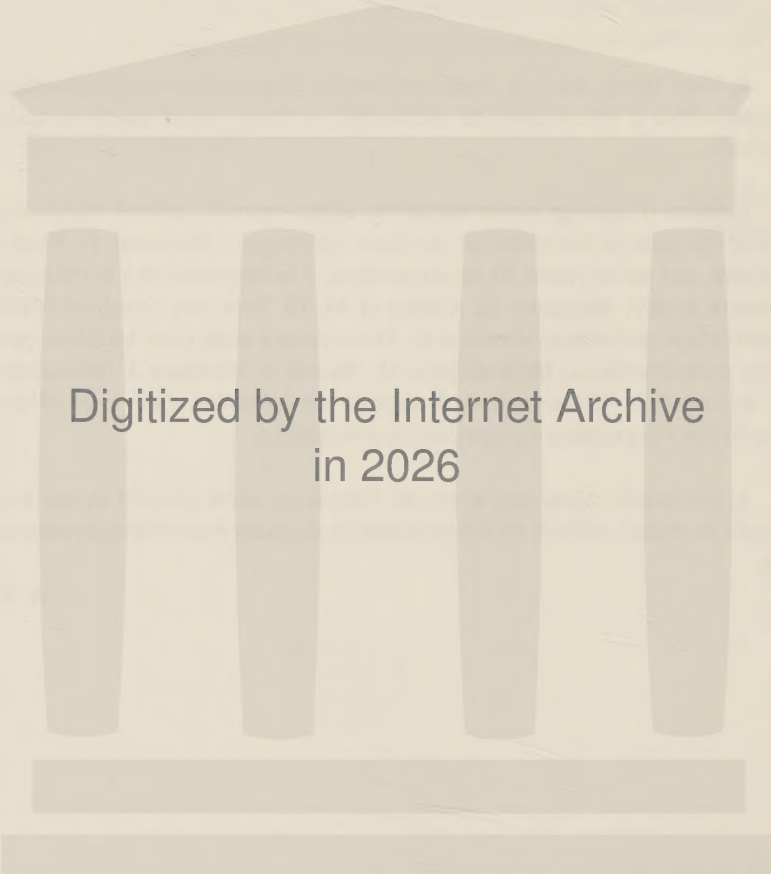
Nous tenons à exprimer ici toute notre reconnaissance à celui qui nous a initiés, formés, guidés et constamment stimulés dans nos travaux : Jean Piaget.

A Vinh Bang, qui a su nous transmettre l'enthousiasme et la prudence indispensables à tout travail de recherche, va toute notre amitié et notre gratitude.

Comme n'importe quelle recherche expérimentale, celle-ci n'a pu être réalisée qu'avec le concours de plusieurs personnes : Monsieur R. Droz a participé, par ses critiques et ses suggestions, à la définition et à la rédaction de notre travail; Messieurs G. Amato et M. Di Tore ont conçu et réalisé l'appareillage technique; Monsieur A. Thom nous a aidés pour les développements mathématiques; Mademoiselle M. Rahmy et Monsieur J. Retschitzky ont contribué à l'étalonnage de l'appareil expérimental. Que leurs efforts trouvent ici l'expression de notre sincère obligation.

A ma femme Lucy, qui a mis en français le texte primitif et qui s'est chargée du travail pénible de dactylographie, va toute mon affection particulière.

A. M.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545929_0009

INTRODUCTION

La psychologie de la perception, malgré sa longue histoire — la plus longue peut-être de toutes les psychologies — n'a nullement perdu en intérêt et en vitalité. Rares sont les psychologues qui ont délaissé cet aspect fondamental du comportement, à tel point que l'on pourrait retracer toute l'histoire de la psychologie, "scientifique" et "pré-scientifique", en n'étudiant que ce seul domaine.

D'ailleurs, nous sommes personnellement convaincus que l'analyse des explications des processus perceptifs proposées par les différentes théories psychologiques, constitue la meilleure méthode pour apprécier la cohérence, la généralité, en un mot la valeur de ces mêmes théories ¹.

Lorsque nous nous sommes mis à étudier de près la psychologie de PIAGET, nous avons été séduits, entre autre, par l'explication qu'il propose des illusions optico-géométriques, et en particulier par son modèle probabiliste des mécanismes perceptifs, fonctionnant selon les deux processus antagonistes mais complémentaires des "rencontres" et des "couplages", avec lequel il arrive à rendre compte de façon fort simple — et à notre avis très satisfaisante — des déformations systématiques dont souffre la perception visuelle.

Ce qui nous a paru très intéressant dans le modèle piagétien, est l'idée que les déformations perceptives ne sont pas uniquement produites par des "agents déformants" contenus dans la réalité à percevoir, qui influenceraient un processus perceptif correct en soi, mais, au contraire, qu'elles sont le résultat, plus ou moins évident, de l'activité perceptive elle-même : c'est le mécanisme propre du processus perceptif qui est déformant en soi, indépendamment des caractéristiques spatio-temporelles de la réalité qui fait l'objet de l'acte perceptif.

L'idée, bien qu'elle ne soit pas nouvelle, peut paraître osée — et nous l'avons exprimée de manière bien plus téméraire que PIAGET n'a l'habitude de le faire — ne serait-ce que par le fait que l'on voit mal comment on pourrait parvenir à la prouver expérimentalement; mais elle nous a paru tout à fait cohérente avec le reste de la théorie et avec la position épistémologique de PIAGET, ce qui nous a poussés à y croire et incités à la mettre, une fois de plus, à l'épreuve.

Voulant ainsi apporter une nouvelle confirmation à l'hypothèse postulée par le modèle piagétien, et voulant démontrer, plus évidemment de ce qui a été fait, sa généralité, nous avons cru utile d'articuler notre travail en trois étapes fondamentales : tout d'abord, il nous a semblé nécessaire de donner au modèle piagétien une nouvelle formulation mathématique afin de le rendre plus maniable; deuxièmement, il nous a

¹ De ce point de vue, nous avons tenté de regrouper, dans une note précédant nos références bibliographiques, les ouvrages qui, à notre avis, pourraient constituer les documents de base indispensables à qui voudrait affronter l'étude critique des problèmes théoriques soulevés par les processus de la perception.

paru indispensable de recourir à une situation expérimentale où les composantes figurales des stimuli utilisés soient réduites au maximum; et troisièmement, nous avons jugé intéressant de rechercher une technique expérimentale qui astreigne le plus possible nos sujets à se comporter de la façon postulée par le modèle afin de parvenir à une sorte de "vérification par simulation".

Nous considérerons donc le but de ce travail comme atteint si nous pouvons démontrer que nos sujets, en "fonctionnant" comme le modèle le prévoit, sur un matériel où tout facteur déformant est réduit au maximum, présentent les déformations perceptives systématiques prédites par le modèle.

Nous allons développer les différentes phases de notre travail dans les pages qui suivent, mais avant tout il nous paraît indispensable de rappeler, dans les grandes lignes, les idées de base du modèle piagétien.

Première partie

DESCRIPTION DU MODELE PROBABILISTE
DES MECANISMES PERCEPTIFS
PROPOSE PAR JEAN PIAGET

I. APERÇU HISTORIQUE

C'est en 1942 que l'on trouve dans la littérature la première formulation de ce modèle (PIAGET, LAMBERCIER, BOESCH & VON ALBERTINI, 1942), à propos d'une étude génétique de l'illusion optique des cercles concentriques, connue sous le nom de "Illusion de Delboeuf".

Cette première étude a été suivie par une quarantaine de "Recherches sur le développement des perceptions", toutes parues dans les *Archives de Psychologie* de l'Ecole de Genève, et au cours desquelles le modèle initial a été précisé à la lumière des faits recueillis. Il est amusant à ce propos de citer PIAGET lui-même (PIAGET, 1955, p. 1) :

"Le lecteur voudra bien nous pardonner si, aux prises avec les difficultés considérables que rencontre toute interprétation des effets perceptifs, même les plus élémentaires et les plus classiques, nous sommes périodiquement obligés de réviser nos hypothèses et de réexaminer nos interprétations."

Comme si cela était un tort !

Au cours des années, non seulement le nombre d'observations s'est singulièrement accru et la théorie a été remodelée plusieurs fois, mais les techniques utilisées ont également été affinées : aux résultats obtenus en vision libre se sont ajoutés ceux obtenus avec la méthode tachistoscopique, qui ont apporté une validation importante de l'aspect probabiliste de la théorie (par exemple PIAGET, VINH-BANG & MATALON, 1958, et, plus récemment DROZ, 1965); plus tard, l'enregistrement des mouvements oculaires a permis de démontrer le bien-fondé des hypothèses initiales concernant le rôle des centrations du regard dans l'anisotropie du champ visuel (VINH-BANG, 1960 d'abord, puis PIAGET & VINH-BANG, 1961 b et 1961 c).

Parmi les formulations théoriques générales qui donnent une vision complète de l'approche piagétienne des mécanismes de la perception, on peut signaler un important article de PIAGET lui-même (PIAGET, 1955) et deux synthèses très bien faites de VURPILLOT (VURPILLOT, 1960 et 1963, p. 46-50). Mais la référence fondamentale reste l'ouvrage de PIAGET "Les mécanismes perceptifs" (PIAGET, 1961), qui regroupe les nombreux résultats expérimentaux recueillis depuis le début jusqu'aux années cinquante, et où le modèle des Centractions Relatives est intégré dans le contexte épistémologique général de l'oeuvre piagétienne.

II. LES CONCEPTS FONDAMENTAUX

A travers les différentes formulations de la théorie, il nous semble que l'on puisse dégager les concepts fondamentaux suivants :

1. La perception est une activité

Le sujet qui perçoit n'est pas un simple enregistreur sur lequel viennent se graver les messages envoyés par le monde extérieur : il ne reçoit pas passivement l'information, il la *cherche*. Dans ce sens, il est clair que la perception est un acte cognitif, tout comme les opérations de l'intelligence.

Mais pour chercher — et si possible trouver — un objet, il faut savoir où chercher; et pour savoir où chercher, il faut déjà avoir quelques connaissances préalables — même vagues et incomplètes — concernant les caractéristiques de cet objet. On ne perçoit pas ce qu'on ne sait pas ¹.

Tout cela est dans la plus pure tradition kantienne. Où PIAGET se détache de KANT, c'est lorsqu'il affirme que

“Les conditions perceptives préalables à toute expérience ne sont pas nécessairement *antérieures* à cette expérience : il peut s'agir de lois d'équilibre intervenant dès les premiers contacts entre le sujet et l'objet et ne précédant donc pas l'expérience, mais la réglant dès le départ en tant que condition immanente (et non pas transcendente) de sa structuration.” (PIAGET, 1961, p. 450).

Ces lois d'équilibre qui règlent tout acte cognitif — et donc également les perceptions — ne sont que les lois propres de l'activité du sujet, car toute activité est un complexe d'actions (mentales ou physiques, peu importe) interdépendantes, dont les compositions constituent une structure au sens algébrique strict, et par conséquent toute activité possède des lois d'équilibre internes. L'activité, parce qu'elle est *structurante*, rend la connaissance possible, et, parce qu'elle est *structurée*, rend la connaissance objective :

“L'objectivité se construit, dans le domaine de la perception comme dans les autres, en fonction des activités du sujet.” (PIAGET, 1961, p. 451).

2. L'activité perceptive est déformante

Si la même activité est à la base de la connaissance déductive et de la connaissance perceptive, comment expliquer alors le fait bien connu que la perception est souvent fallacieuse, déformante, alors que la connaissance formelle ne semble pas déformer le réel ?

¹ Cette idée était déjà présente chez HELMHOLTZ (1866).

“La connaissance logico-mathématique ne nous détache pas du réel ou du monde des objets, mais l’élargit seulement en l’insérant dans l’ensemble des possibles”

alors que

“la perception se situe *hic et nunc* et a pour fonction d’insérer chaque objet ou événement particulier dans ces cadres d’assimilation possible.” (PIAGET, 1961, p. 445).

C’est donc bien l’aspect fondamentalement contingent de tout acte perceptif qui le rend déformant, ou mieux encore, qui *ne peut pas* le rendre conformant : si le processus qui amène à la connaissance objective est celui d’une équilibration progressive et de plus en plus complète, et si, d’autre part, une équilibration complète n’est possible que dans une structure où toutes les compositions sont réversibles et additives (où — en d’autres termes — la mobilité est complète), alors il est clair qu’une perception ne peut que très rarement — sinon jamais — être objective, étant donné qu’elle est liée aux contingences spatiales et temporelles du moment, et que ces contingences réduisent la mobilité du système.

La perception est donc une activité, mais une activité nécessairement déformante parce que limitée *hic et nunc*. Ces limitations peuvent être repoussées toujours plus loin, d’où la possibilité d’une évolution génétique des perceptions; mais au-delà d’un certain palier, ces limitations spatio-temporelles ne peuvent plus être levées par la simple activité perceptive : les compositions plus mobiles des opérations intellectuelles doivent entrer en jeu, d’où l’interaction constante — bien qu’à des degrés divers — entre perception et intelligence ¹.

3. Les déformations perceptives sont de deux espèces

Dans l’acte perceptif visuel, le sujet centre du regard une certaine portion de l’espace pour en extraire l’information qu’il contient. Cette centration du regard s’accompagne pratiquement toujours d’une centration de l’attention : car si l’on veut comprendre l’information contenue dans un message, il est clair que l’on y prête de l’attention ².

¹ Interaction qui peut également produire, dans certaines conditions, des déformations systématiques d’origine plus intellectuelle que simplement perceptive (cf. PIAGET, 1961, partie II, p. 172-342).

² Sauf dans certaines conditions particulières mises en évidence par REY & RICHELLE (1955) et surtout par FRAISSE, EHRLICH & VURPILLOT (1956) qui ont fait une distinction entre “centration du regard” et “centration de l’attention”.

L'objet sur lequel se centre le regard, et donc l'attention, prend donc une importance plus grande par rapport à ceux qui l'entourent : il est lapalissien que l'on est attentif à un objet dans la mesure où l'on néglige les autres. Cette "importance" plus grande qu'assume l'objet centré se traduit, dans le domaine plus spécifiquement perceptif, par une *surestimation* de ses propriétés physiques : si l'on prend deux segments égaux par exemple, celui qui est centré est jugé plus long que celui qui est perçu en vision périphérique, soit que les deux segments soient distincts, soit qu'ils fassent partie d'une même configuration (Pour les données expérimentales, se référer à PIAGET, 1961, ch. II.).

Cette surestimation en quelque sorte "absolue", parce que résultant de la simple centration et indépendante des dimensions physiques de l'objet, constitue la première espèce de déformation perceptive : *L'Erreur Élémentaire I*.

Comment peut-on pallier, du moins contrecarrer cette déformation due à la centration ? En se décentrant, bien sûr. Mais se décentrer ne veut pas simplement dire se détacher : fermer les yeux ne sert à rien, car quand on les ouvre à nouveau, on est au point de départ. Se décentrer ne veut pas non plus dire négliger, se détourner de l'objet pour en regarder un autre. Se décentrer signifie ici opérer une nouvelle centration — dans l'espace ou dans le temps — et la *mettre en relation* avec la première. Et ce processus est évidemment itératif, de sorte que l'on peut dire en général que la décentration consiste en fait en une *coordination de centrations*. Tout comme, dans le domaine cognitif, l'objectivité, en tant que relativisation, est le résultat de la coordination des opérations.

Cette coordination de centrations se ferait sans problème et dans un laps de temps très bref si les centrations se distribuaient de façon homogène dans l'espace et dans le temps : or, il y a bien des situations qui nous permettent de penser qu'une telle homogénéité n'est qu'exceptionnelle.

Pour ne considérer que la situation la plus élémentaire, admettons que l'on doive comparer deux segments inégaux A et B : si B est le plus long, il est très probable qu'il sera objet d'un nombre de centrations plus grand que le segment A. Or, en voulant opérer une coordination entre les centrations sur B et les centrations sur A, il est clair que dans le processus de coordination les centrations sur B vont intervenir plus fréquemment que celles sur A, par le fait même qu'elles sont plus nombreuses. L'action de coordonner — bien que décentrante en elle-même — va donc ici privilégier le segment le plus long, à cause de l'hétérogénéité primitive des centrations : et cette prédilection va entraîner une *surestimation relative* de B par rapport à A, et une *sousestimation relative* de A par rapport à B.

Ces effets, qui se superposent à ceux de l'Erreur Élémentaire I, constituent la seconde espèce de déformation perceptive : *l'Erreur Élémentaire II*, déformation qui est "relative" et non plus absolue, et qui

dépend des caractéristiques physiques de l'objet perçu (Pour une confrontation avec les faits expérimentaux, se référer à PIAGET, 1961, ch. II).

III. LE MODELE PROBABILISTE

1. L'Erreur Élémentaire I et les "rencontres"

Dans le paragraphe précédent, nous avons fait usage du terme de "centrations" : terme vague — à dessein — dont nous n'avons pas non plus spécifié s'il se référait essentiellement aux mouvements du regard, ou aux polarisations de l'attention, ou à d'autres mécanismes. Cela n'était pas nécessaire, à notre avis, pour souligner les déformations perceptives dûes à ces centrations, déformations que nous avons appelées, avec PIAGET, "Erreur Élémentaire I".

Maintenant il est temps d'apporter des précisions :

"Soit donc une ligne L, que nous divisons en un certain nombre de segments égaux (ce nombre étant arbitraire, mais la longueur des segments envisagés devant naturellement être la même pour toutes les parties de la figure comparées à L). Considérons, d'autre part, les organes récepteurs du sujet comme comportant également un certain nombre d'unités élémentaires, qui peuvent être — sans que nous ayons à nous prononcer sur ce point — soit des unités cellulaires de la rétine ou du territoire cortical correspondant, soit des unités relatives à la transmission nerveuse, soit encore des unités de mouvement au cas où les petits mouvements oscillatoires du globe oculaire joueraient un rôle dans l'enregistrement perceptif. Nous supposons alors que les variations dans l'estimation subjective de la longueur L (variations dont l'expérience montre donc qu'elles dépendent de la centration, selon les quatre facteurs de topographie du champ, de durée, d'ordre de succession et "d'attention") sont fonction de la "probabilité de rencontre" entre les segments de L et les unités élémentaires relatives aux organes récepteurs." (PIAGET, 1961, p. 116).

La perception serait donc rendue possible par des *rencontres* entre éléments de l'objet et éléments récepteurs du sujet.

"Nous conserverons intentionnellement au terme de "rencontres" le sens le plus général possible, sans décider en particulier si les éléments "rencontrants" appartiennent à l'objet et les éléments "rencontrés" au sujet, ou l'inverse." (PIAGET, 1961, p. 116).

Même sans ces spécifications, la notion de rencontre ainsi définie précise celle de centration, sans toutefois s'y substituer : il est clair en effet que lors d'une centration plusieurs rencontres peuvent avoir lieu. De plus, une centration peut être plus ou moins longue, plus ou moins "enveloppante", et donc comporter un nombre plus ou moins grand de rencontres.

Comment donc ces rencontres vont se distribuer au cours d'une centration ? Quel serait le modèle probable de leur fonctionnement qui

rendrait compte du fait expérimental très général que, avec la centration du regard, un segment paraît s'allonger, mais pas indéfiniment, et surtout pas d'une façon linéaire ? PIAGET tient le raisonnement suivant :

"Supposons d'abord que les rencontres se distribuent au hasard sur la ligne L, qu'elles ne s'effectuent qu'en nombre restreint parmi l'ensemble des rencontres possibles et qu'une rencontre sur un point n'augmente ni diminue les chances de rencontre sur les points immédiatement voisins. Admettons, par exemple, que sur 1.000 rencontres possibles sur la ligne L il ne s'en produise que 500 pendant une première durée (de 0,05" pour fixer les idées). Au cours d'une seconde durée égale il s'en produira alors de nouveau 500 et de nouveau au hasard (à partir de la même centration ou d'une autre, par "enveloppement" plus ou moins large) : or, sur ces 500 nouvelles rencontres, certaines toucheront des points non encore rencontrés jusque-là et d'autres toucheront des points déjà rencontrés : les points non encore rencontrés (par exemple 250) s'ajouteront en ce cas aux points rencontrés pendant la première durée, ce qui fera en tout 750 (mais pas 1.000), tandis que les points déjà rencontrés pendant la première durée ne compteront plus dans le calcul, étant déjà comptés une première fois. Au cours d'une troisième durée égale, il se produira à nouveau 500 rencontres, mais un nombre encore inférieur d'entre-elles toucheront des points non encore rencontrés (par exemple 125, ce qui fera en tout 875), tandis que les 375 autres rencontres n'ajouteront rien de plus si l'on ne compte pas deux fois les points déjà rencontrés, etc. Un tel modèle est assurément très grossier (faute en particulier de prévoir des zones de probabilité inégales sur L en fonction des points de fixation et de leur choix selon la longueur de L, etc.). Mais nous tenons à faire le moins possible d'hypothèses et ce schéma nous suffira." PIAGET, 1961, p. 118).

Ce raisonnement peut être mis en forme de la manière suivante, en s'inspirant de la démonstration proposée par MATALON (in PIAGET, 1961, p. 119) :

- a) à chaque instant t_i , il existe N_i éléments rencontrables;
- b) la probabilité qu'un élément rencontrable soit effectivement rencontré est p , indépendante de t_i et constante tout au long du processus;
- c) un élément rencontré en t_i n'est plus rencontrable en t_{i+k} .

Le nombre de rencontres R_{t_i} dans l'instant t_i est par conséquent donné par la formule :

$$R_{t_i} = pN_i \quad (1)$$

Dans l'instant suivant t_{i+1} , étant donné la définition c, le nombre de rencontres $R_{t_{i+1}}$ sera alors :

$$R_{t_{i+1}} = p(N_i - pN_i) \quad (2)$$

parce que $(N_i - pN_i)$ est le nombre d'éléments rencontrables qui n'ont pas déjà été rencontrés en t_i ; cela peut aussi s'écrire :

$$R_{t_i+1} = pN_i (1 - p) \quad (3)$$

Toujours en fonction de c , dans l'instant t_{i+2} on aura :

$$R_{t_i+2} = p \left[N_i - pN_i - pN_i (1 - p) \right] \quad (4)$$

soit, en factorisant :

$$R_{t_i+2} = pN_i (1 - p)^2 \quad (5)$$

D'une manière générale donc, le nombre de rencontres effectuées à un moment t_{i+k} est donné par :

$$R_{t_i+k} = pN_i (1 - p)^k \quad (6)$$

Si l'on se souvient que p est une probabilité et que l'on admet qu'en général ici $p < 1$, il est clair que :

$$\lim_{R_{t_i} \rightarrow \infty} = 0 \quad (7)$$

Pour conclure l'exposé de cette première partie du modèle, reprenons une fois encore les paroles de PIAGET (en remplaçant ses symboles par les nôtres) :

“La somme des éléments rencontrés $\sum R_{t_i}$, après chaque nouvel ensemble R_{t_i} de rencontres, croît ainsi selon une exponentielle et fournit le modèle de ce qui pourrait être l'allongement apparent progressif (jusqu'à une certaine limite) de la ligne L pendant les durées t_i, t_{i+1}, t_{i+2} , etc. correspondant à $R_{t_i}, R_{t_{i+1}}$, etc. rencontres. Il en résulte que ce modèle obéit dès le départ à une loi logarithmique puisque à la progression arithmétique $t_{i+1}, t_{i+2}, t_{i+3}$, etc. correspond la progression géométrique $(1 - p), (1 - p)^2, (1 - p)^3$, etc. Cette circonstance fondamentale rend compte du fait que les surestimations dues à la centration sont proportionnelles aux grandeurs des éléments perçus et fait d'emblée entrevoir la parenté de ces mécanismes avec la loi de WEBER.” (PIAGET, 1961, p. 120).

Soulignons encore, avant de passer à la deuxième partie du modèle, que la surestimation dont il est question ici ne signifie en fait que l'augmentation progressive de la longueur *subjective* d'un segment au cours du processus perceptif, et ne se réfère aucunement à la longueur objective du segment. Il s'agit plutôt d'une sorte de “dilatation” progres-

sive mais locale, comme PIAGET lui-même l'a fait remarquer ailleurs (PIAGET, 1955, p. 3). De plus, il est clair que ce phénomène est impossible à mettre en évidence à l'état pur, étant donné qu'il s'agit bien d'une déformation *absolue* et non pas relative.

2. L'Erreur Élémentaire II et les "couplages"

La première partie du modèle que nous venons de rappeler essaie donc de rendre compte des phénomènes perceptifs qui se manifestent lors d'une seule centration du regard portant sur un objet unique. Mais si l'objet de la perception est composé, si, par exemple, il s'agit de deux segments de droite que le sujet doit comparer entre eux, il est clair que l'acte perceptif comportera alors plusieurs centrations, donc plusieurs échantillonnages successifs (et différents) de rencontres. Et même si les deux segments sont de longueur égale, rien ne permet de supposer à priori que les rencontres se distribuent selon des densités identiques sur les deux segments : la probabilité p qu'un élément rencontrable soit effectivement rencontré n'est pas nécessairement la même pour les deux segments. En effet, l'un pourrait être mieux ou plus souvent centré que l'autre, ou encore les durées des centrations pourraient être variables, ou encore l'un pourrait attirer plus l'attention que l'autre. Dans tous ces cas, le modèle développé jusqu'ici est insuffisant et nécessite d'être complété.

Revenons encore à PIAGET :

"Cette hétérogénéité possible des rencontres (i.e. inégalité de densité ou de nombre de rencontres effectuées par unité de longueur) est d'une grande importance théorique, puisque seule elle permet de passer de l'effet de centration sur un élément unique L (= Erreur Élémentaire I) aux effets de centration par comparaison entre deux éléments, c'est-à-dire aux surestimations *relatives* et non plus *absolues*. Si l'Erreur Élémentaire I intervenait seule, ou de façon uniforme sur tous les éléments, nous ne pourrions ni la déceler ni même en constater les résultats indirects sous la forme des illusions optico-géométriques. Par contre, si elle ne présente pas la même valeur pour chacun de deux éléments comparés entre eux, la différence de ces Erreurs Élémentaires I constitue une nouvelle source d'erreur ou *Erreur Élémentaire II*, consistant donc en surestimations relatives et que la mesure peut atteindre. Cette nécessité de distinguer les surestimations absolues et relatives, donc les Erreurs Élémentaires I et II, nous oblige alors à introduire, en plus de l'hypothèse des "rencontres", celle des "couplages" ou correspondances entre rencontres, et à introduire en outre d'emblée la distinction entre couplages "incomplets" et "complets". Si les rencontres étaient, en effet, homogènes ou de même densité sur tous les éléments L , les couplages seraient toujours, par définition, "complets", et ni l'une ni l'autre de ces deux notions n'ajouteraient rien à celle des rencontres (et d'autre part, les effets de centration se borneraient à tout agrandir ou tout rapetisser sans rien déformer). Dans la mesure, au contraire, où les rencontres sont hétérogènes sur L_1 et sur L_2 , il faut bien traduire cette hétérogénéité des densités en termes de correspondances, et c'est ce qu'expriment les couplages, mais il faut aussi, et par cela même, trouver un modèle expliquant pourquoi ces couplages sont tantôt moins complets et tantôt un peu plus, l'accèsion aux couplages complets, lorsqu'elle se produit, soulevant alors un problème nouveau et spécifique au lieu de résulter automatiquement de la généralité des rencontres." (PIAGET, 1961, p. 121).

L'évolution qualitative des couplages en fonction du temps d'exploration peut toutefois être déduite sans autre de l'examen des courbes possibles d'augmentation des rencontres. Admettons pour simplifier que l'on ait à comparer deux segments L_1 et L_2 de longueur égale : le nombre d'éléments rencontrables sur L_1 et sur L_2 sera donc aussi égal. Admettons de plus que, pour des raisons diverses (disposition spatiale des segments, rôle privilégié de l'un d'eux en tant qu'étalon ou mesurant, etc.), la densité effective des rencontres ne soit pas la même sur les deux lignes : c'est-à-dire, d'après les définitions utilisées dans le paragraphe précédent, que la probabilité p qu'un élément rencontrable soit effectivement rencontré n'a pas la même valeur pour L_1 que pour L_2 . En utilisant la formule (6), on peut calculer l'augmentation du nombre des rencontres en fonction du nombre total d'éléments rencontrables sur L_1 et sur L_2 et des probabilités p et p' , où $p \neq p'$: indépendamment des valeurs numériques des paramètres en question, on peut facilement imaginer que les deux courbes (différentes parce que $p \neq p'$) vont présenter une allure du type indiqué à la Figure 1.

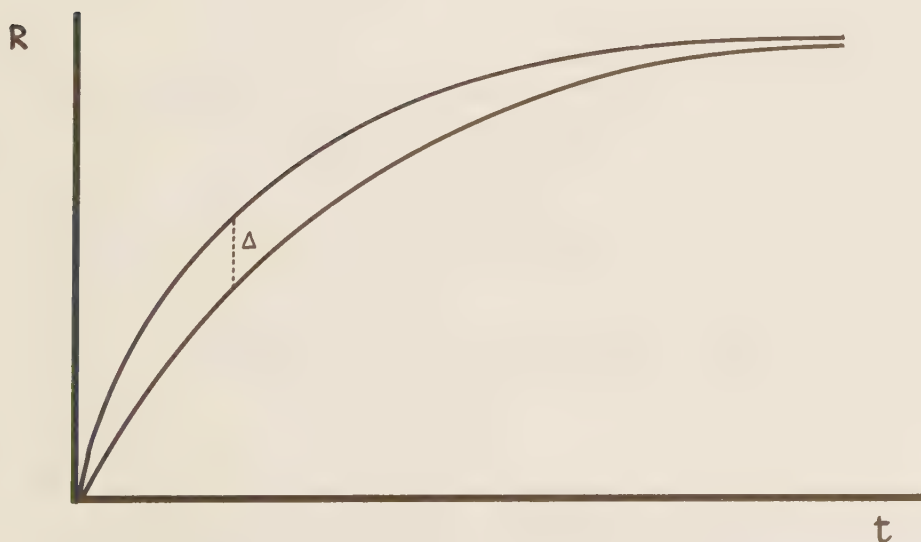


Figure 1 : Augmentation du nombre des rencontres en fonction du temps, d'après le modèle piagétien (cf. texte).

En examinant le graphique (qualitatif) de la Figure 1, on s'aperçoit immédiatement que la probabilité d'avoir des couplages complets, quelles que soient les probabilités p et p' de rencontres, est plus grande au début et à la fin du processus, puisque c'est à ces deux moments que les deux courbes sont les plus proches, et donc le nombre des rencontres sur L_1 et sur L_2 pratiquement égal. A des temps intermédiaires, correspondant aux endroits où les deux exponentielles commencent à fléchir, on constate que les deux courbes sont passablement éloignées l'une de l'autre : là, la probabilité de couplages complets sera faible, et maximale celle des couplages incomplets, par le simple fait que le nombre des rencontres sur les deux segments est passablement différent.

Si l'on considère maintenant le cas où le nombre d'éléments rencontrables n'est pas le même pour L_1 et pour L_2 (par exemple parce qu'il existe une différence objective de longueur entre L_1 et L_2), en plus du fait que les deux probabilités de rencontres sont différentes, les deux courbes exprimant l'augmentation du nombre des rencontres vont se présenter — toujours en ne considérant que leur aspect qualitatif — d'une façon analogue à celle indiquée à la Figure 2.

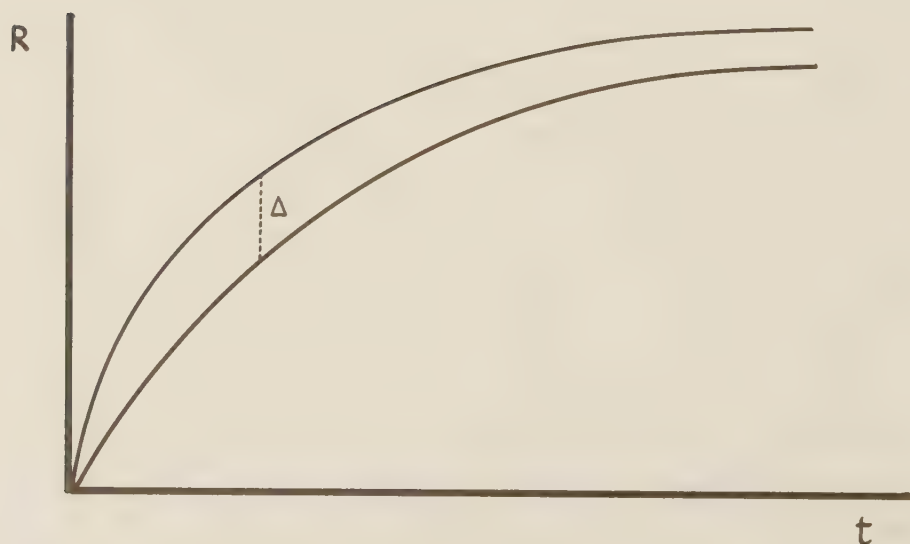


Figure 2 : Augmentation du nombre des rencontres en fonction du temps, dans le cas où $L_1 \neq L_2$, d'après le modèle piagétien.

Là encore, on peut constater que la probabilité de couplages complets, très élevée au début du processus, passe par une valeur minimale aux temps intermédiaires pour se stabiliser ensuite autour d'une valeur inférieure à celle de départ mais supérieure à celle intermédiaire. On peut donc, ici comme dans le cas représenté à la Figure 1, parler d'un maximum de couplages incomplets qui se situerait également autour des points de fléchissement des deux exponentielles.

La simple hypothèse d'une hétérogénéité des rencontres, intégrée dans le modèle exponentiel, suffit donc non seulement à justifier la présence des couplages incomplets — responsables de l'Erreur Elémentaire II — mais également à les situer à un moment déterminé de l'acte perceptif.

“L'essentiel de ce schéma consiste à admettre que les couplages jouent un rôle opposé à celui des rencontres, du fait que les rencontres sont facteurs de surestimation absolue, tandis que seuls les couplages incomplets déterminent les surestimations relatives. Il faut, en effet, supposer que, si les couplages sont complets, c'est-à-dire relient tous les points de rencontre sur L_2 à tous les points de rencontre sur L_1 (à densités égales sur les deux lignes), il ne saurait y avoir de surestimation relative s'ajoutant aux surestimations absolues, quelles que soient les valeurs de celles-ci. La raison en est que le couplage est un instrument de liaison, donc d'objectivité, et si nous attribuons les effets de centration aux rencontres, il faut considérer les couplages effectués comme facteurs de *décentration* (au sens de coordination) dans la mesure où ils sont complets. Par contre, c'est dans la mesure où ils sont incomplets que le jeu des couplages entraîne les surestimations ou sous-estimations relatives s'ajoutant aux surestimations absolues.” (PIAGET, 1955, p. 10).

Pour conclure l'exposé de cette deuxième partie du modèle probabiliste piagétien, il nous semble important de signaler que, si les effets de centration dûs aux rencontres échappent à toute vérification expérimentale, les phénomènes prévus par l'action conjointe des rencontres et des couplages ont pu être vérifiés avec succès, et notamment la présence du *maximum temporel* des couplages incomplets (cf. notamment PIAGET, VINH-BANG & MATALON, 1958; PIAGET, 1961, ch. II, § 6; DROZ, 1965).

Mais l'aboutissement capital du modèle piagétien reste la formulation de la *Loi des Centrations Relatives* qui rend compte de l'ensemble des déformations perceptives connues sous le nom d'illusions optico-géométriques.

3. La loi des centrations relatives

Les deux parties du modèle probabiliste de PIAGET que nous venons de rappeler, celle décrivant le processus des rencontres et celle déterminant le caractère plus ou moins incomplet des couplages, rendent compte séparément des deux déformations perceptives fondamentales que nous avons appelées, avec PIAGET, Erreur Elémentaire I et Erreur Elémentaire II.

Il s'agit maintenant de parvenir à une formulation qui rende compte des effets conjoints de ces deux déformations fondamentales, et qui, en outre, permette un calcul quantitatif pouvant aboutir à une prévision satisfaisante de l'évolution de cette "*Erreur Composée*" en fonction des paramètres physiques de l'objet à percevoir.

Demandons-nous d'abord quels sont les différents types de couplages possibles qui peuvent avoir lieu lors de l'exploration d'une figure quelconque. Pour simplifier, nous allons imaginer une configuration très élémentaire, constituée par exemple par deux segments L_1 et L_2 parallèles et de longueur inégale (Figure 3, d'après PIAGET (1961) p. 141).

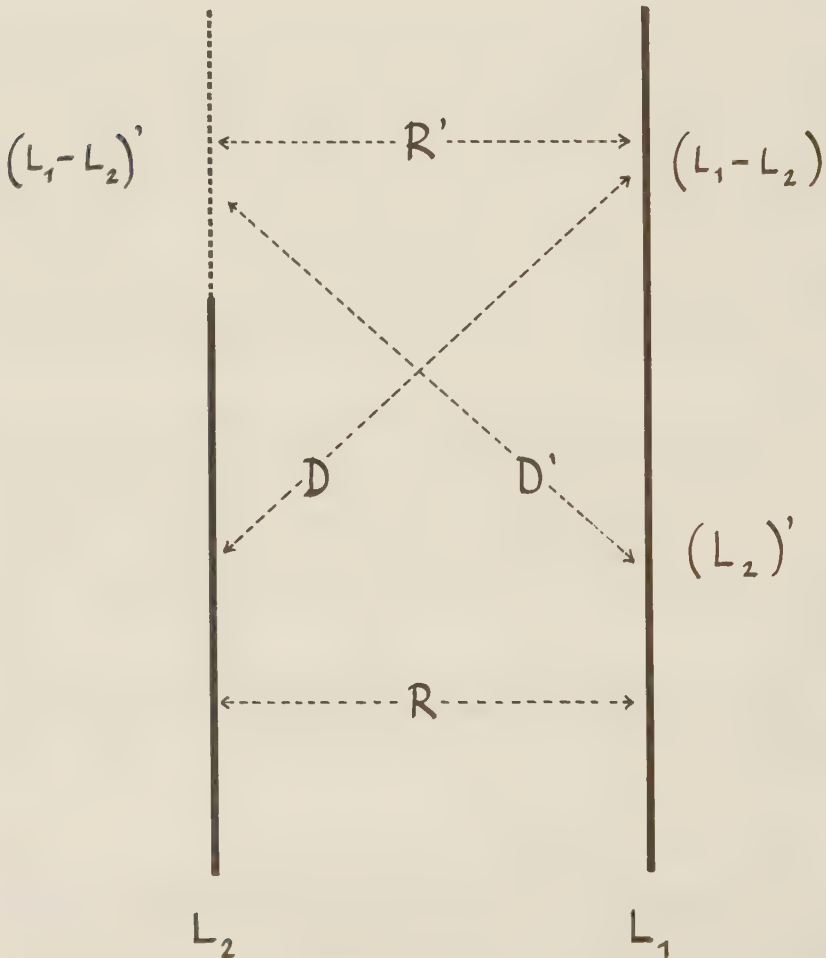


Figure 3 : Différents types de couplages lors de l'inspection de deux segments L_1 et L_2 , d'après le modèle piagétien (notation modifiée par nous).

Le segment L_1 , plus long que L_2 , peut être partagé en deux éléments : un égal à L_2 et que nous appellerons L_2' , et l'autre égal à la différence entre les deux segments : $L_1 - L_2$. Sur une telle figure, PIAGET distingue plusieurs types de couplages possibles :

- des couplages “de ressemblance” R , entre les rencontres sur L_2 et sur L_2' ; ces couplages, s'ils sont complets, seront vraisemblablement au nombre de $(L_2)^2$.
- des couplages “de différence” D , entre L_2 et $(L_1 - L_2)$, qui, s'ils sont complets, seront au nombre de $(L_1 - L_2)L_2$.
- des couplages “de différence réciproque” D' , entre L_2' et $(L_1 - L_2)'$, qui, s'ils sont complets, seront également au nombre de $(L_1 - L_2)L_2$, puisque nous avons posé $L_2' = L_2$ et $(L_1 - L_2)' = (L_1 - L_2)$.
- enfin, des couplages “de ressemblances entre différences” R' , entre $(L_1 - L_2)$ et $(L_1 - L_2)'$; ces derniers, s'ils existent et sont complets, seront au nombre de $(L_1 - L_2)^2$.

Parmi ces quatre types de couplages, il est vraisemblable d'admettre que ceux de différence, D et D' , constituent la variété la plus importante, parce que ce sont eux qui “traduisent l'opposition perceptive des longueurs L_1 et L_2 .” (PIAGET, 1961, p. 142).

Ce sont eux aussi qui ont la plus faible probabilité d'être complets — comme cela a été démontré dans le paragraphe précédent — et donc qui seront les principaux responsables des déformations éventuelles.

On peut donc déjà exprimer la probabilité qu'il y ait déformation perceptive en posant le rapport suivant :

$$P = \frac{(L_1 - L_2)L_2}{S} \quad (8)$$

où on retrouve, au numérateur, le nombre de couplages de différences, responsables de la déformation, et, au dénominateur, l'ensemble de tous les couplages possibles, exprimé par la surface S de la figure (pour le calcul de S dans des situations différentes, cf. PIAGET, 1961, p. 144-145). Cela est bien un rapport exprimant une probabilité, de la forme habituelle : nombre de cas favorables (à la déformation) sur nombre de cas possibles, et, puisque $(L_1 - L_2)L_2 \leq S$, P est compris entre zéro et 1, comme il se doit pour une probabilité.

“Mais cette expression (8), quoique correspondant au facteur le plus important de l'illusion, ne suffit pas toujours à lui seul et il faut y ajouter un facteur régulateur, qui n'intervient d'ailleurs pas dans les cas généraux (auxquels cas il est de valeur 1), mais qui est nécessaire pour rendre compte des effets de certaines configurations. Ce facteur comprend les trois éléments suivants :

- Le nombre n de comparaisons distinctes entre $(L_1 - L_2)$ et L_2 , nombre qui est de 1 si L_2 est comparée à un seul L_1 , mais qui est de 2 si L_1 est inséré entre deux segments L_2 , etc.
- La longueur maximale $L_{\max}$ de la figure, car autre chose est de comparer un L_1 à un L_2 perpendiculaire, comme dans le cas du rectangle (auquel cas $L_{\max} = L_1$), et autre chose est de comparer un L_1 à un L_2 qui le prolonge (auquel cas $L_{\max} = L_1 + L_2$).
- Cette longueur maximale ne saurait elle-même intervenir sous une forme absolue, puisque jusqu'ici tout est relatif dans les valeurs considérées : elle se présentera donc au sein d'un rapport dont l'autre sera la longueur de référence L (où $L = L_1$ ou L_2).

Le second facteur à considérer sera donc au total :

$$\frac{nL}{L_{\max}} \quad (9)$$

(fin de citation; PIAGET, 1961, p. 24-25).

Du point de vue modèle,

“Le rapport (9) exprime le rapport entre les rencontres (ou couplages possibles) sur L et les rencontres sur $L_{\max}$ qui est la plus longue ligne de la figure.” (PIAGET, 1961, p. 145).

Nous pouvons maintenant formuler de manière complète la *Loi des Centractions Relatives* :

$$P = \frac{(L_1 - L_2) L_2}{S} - \frac{nL}{L_{\max}} \quad (10)$$

où, pour nous résumer :

- P = probabilité d'avoir une déformation
- L_1 = la plus grande des longueurs comparées
- L_2 = la plus petite des longueurs comparées
- S = la surface globale de la figure
- n = le nombre de comparaisons distinctes entre $(L_1 - L_2)$ et L_2
- L = la longueur de référence
- $L_{\max}$ = la longueur maximale de la figure

“En conclusion, la Loi des Centratrations Relatives apparaît comme un double rapport probabiliste. Le premier des rapports qu'elle contient exprime la probabilité des couplages de différences D , soit $(L_1 - L_2) L_2$, en égard à l'ensemble des couplages possibles S . Le second rapport exprime la probabilité des rencontres (ou couplages possibles) sur la ligne L en égard aux rencontres sur la longueur la plus grande de la figure, ce qui renforce ou freine l'effet du premier rapport (et le laisse habituellement inchangé quand $L_1 = L_{\max}$).” (PIAGET, 1961, p. 146).

On peut souligner en passant que la valeur P donnée par la Loi des Centratrations Relatives exprime une probabilité composée : celle d'obtenir *simultanément* les deux types de déformations indiquées plus haut; cela étant, il est normal que l'on multiplie le premier rapport par le second, en vertu du deuxième théorème de composition des probabilités :

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B).$$

Quant à la vérification expérimentale de la Loi des Centratrations Relatives, l'on peut dire tout simplement qu'elle est surprenante. Pour les détails, nous renverrons à PIAGET, 1961, ch. I; il suffira ici de constater que

“...la même loi... s'applique à au moins vingt “illusions” distinctes : côtés du rectangle, semi-rectangle, diagonale du rectangle, angles aigus et obtus, médiane des angles, diagonales du losange, courbures, grande et petite diagonale des parallélogrammes simples, figure de Sander, grand et petit côtés parallèles du trapèze, figure de Müller-Lyer sous trois formes différentes, figures de Delboeuf sous deux formes, segment de droite compris entre deux autres segments égaux ou suivi d'un second segment, et espaces divisés.” (PIAGET, 1961, p. 97-98).

On ne peut donc qu'être en accord avec PIAGET lorsqu'il affirme :

“On ne peut donc qu'être satisfaits de la réduction d'une telle diversité à une formule générale unique, malgré tous les problèmes de détail non encore résolus.” (PIAGET, 1961, p. 98).

Deuxième partie

REFORMULATION DU MODELE PIAGETIEN ET POSITION DES HYPOTHESES DE TRAVAIL

I. REFORMULATION PROBABILISTE DU MODELE DES "REN- CONTRES" ET DES "COUPLAGES"

1. Redéfinition des concepts

Nous avons vu, au chapitre précédent, que tout le modèle perceptif de PIAGET, y incluse la Loi des Centractions Relatives, repose sur deux concepts fondamentaux : celui de "rencontres" entre éléments de l'appareil perceptifs et éléments de l'objet perçu, et celui de "couplages" entre rencontres s'effectuant sur des objets divers.

Il nous a donc semblé important d'essayer de formaliser à nouveau ces deux notions, pour mieux dégager leur nature probabiliste, et de façon à pouvoir situer plus précisément les questions auxquelles nous avons essayé de répondre au cours de notre expérimentation ¹.

Résumons brièvement les postulats de PIAGET :

- L'objet à percevoir est composé de N éléments distincts;
- L'appareil perceptif du sujet est également composé de M éléments distincts;
- L'acte perceptif consiste en une mise en correspondance biunivoque, i.e. en "rencontres" entre éléments de l'objet et éléments du sujet;
- Le processus perceptif consiste en une séquence temporelle de "rencontres";
- Chaque élément de l'objet a une probabilité p d'être rencontré par un élément du sujet, et p est constante tout au long du processus;
- Chaque élément de l'objet n'est rencontrable qu'une fois au plus tout au long du processus.

Dans le langage des trous et des balles des "occupancy problems", qui semble particulièrement cher aux statisticiens (cf. par exemple FELLER, 1968), le même problème peut être exprimé ainsi :

¹ Nous tenons à remercier ici Monsieur Alain THOM de la Faculté des Sciences de l'Université de Genève qui nous a aidés dans cette partie du travail.

- on a une grille composée de N trous : c'est l'ensemble des N éléments de l'objet à percevoir;
- sur cette grille, on jette un certain nombre M de balles (ce sont les éléments percevants du sujet), qui — en tombant au hasard — vont occuper un certain nombre de trous : un trou occupé par une balle est donc une "rencontre";
- le jet des balles se fait plusieurs fois de suite, mais il est clair qu'un trou déjà occupé par une balle ne peut plus en recevoir d'autres;
- en général, et d'une manière invariante tout au long de la série de jets, chaque trou a une probabilité p d'être occupé par une balle.

Ce langage, malgré son aspect quelque peu ludique — ce qui, d'ailleurs, n'est pas nécessairement un défaut — nous semble particulièrement avantageux, d'une part à cause de sa simplicité et de son concret, d'autre part à cause de sa généralité, et enfin, et surtout, par le fait qu'il souligne bien l'aspect aléatoire du phénomène considéré. Nous allons donc l'adopter pour construire notre formalisation, mais en revenant au vocabulaire piagétien chaque fois qu'il nous semblera opportun.

2. Formalisation du processus des rencontres

Posons, pour commencer, les postulats suivants :

- a — on a une grille composée de N trous;
- b — on jette k fois des balles sur la grille ¹;
- c — la probabilité qu'un trou capte une balle est p , constante à travers k ;
- d — chaque trou capte une balle au plus.

A chaque jet des balles, on aura donc n trous occupés par une balle, où $n \leq N$.

Il est évident qu'il y a plusieurs manières d'occuper n trous sur un ensemble de N trous : le nombre de manières différentes est donné par :

$$NC_n = \binom{N}{n} = \frac{N!}{n! (N - n)!} \quad (11)$$

¹ Le nombre de balles n'est pas important; il suffit d'admettre qu'il est inférieur à N .

D'autre part, la probabilité qu'un trou soit encore vide *après* le k -ième jet sera, d'après les postulats c et d :

$$P(\text{trou vide après } k \text{ jets}) = (1 - p)^k \quad (12)$$

D'une manière analogue, la probabilité qu'un trou soit plein *après* le k -ième jet :

$$P(\text{trou plein après } k \text{ jets}) = 1 - (1 - p)^k \quad (13)$$

On peut maintenant définir une variable X_k , dont les valeurs représentent les nombres de trous occupés, chacun par une balle, après k jets. La distribution de probabilités de cette variable X_k est clairement binomiale, d'après (11), (12) et (13). On peut donc exprimer la probabilité que X_k prenne la valeur n de la manière suivante :

$$P(X_k = n) = \binom{N}{n} [1 - (1 - p)^k]^n [(1 - p)^k]^{(N - n)} \quad (14)$$

où :

- N = nombre total de trous de la grille
- p = probabilité qu'un trou capte une balle
- k = nombre de jets déjà effectués
- n = nombre de trous occupés après k jets

L'expression (14) donne donc la probabilité d'obtenir *exactement* n "rencontres" après k essais.

Le fait que le nombre n des rencontres effectuées après k itérations soit variable nous paraît déjà une précision importante du modèle piagétien et nous semble, par ailleurs, tout à fait vraisemblable par rapport à la réalité du processus perceptif.

Si la variable X_k , nombre des rencontres après k essais, a une distribution de probabilités binomiale, on peut alors calculer facilement son espérance et sa variance :

$$E \{X_k\} = N [1 - (1 - p)^k] \quad (15)$$

$$\text{VAR } \{X_k\} = N [1 - (1 - p)^k] (1 - p)^k \quad (16)$$

En comparant la formule (15) à la formule (6) du modèle de PIAGET, on perçoit facilement leur parenté : alors que notre expression (15) exprime le nombre moyen (ou le nombre probable) des rencontres effectuées depuis le début du processus jusqu'à l'essai k compris, la formule (6) de PIAGET-MATALON :

$$R_{t_i+k} = pN_i (1 - p)^k \quad (6)$$

exprime le nombre de rencontres effectuées à l'essai k . Cela devient encore plus évident si l'on passe à l'infini :

$$E \left\{ X_{k \rightarrow \infty} \right\} = N \quad (17)$$

et

$$R_{t_i \rightarrow \infty} = 0 \quad (7)$$

En outre :

$$\text{VAR} \left\{ X_{k \rightarrow \infty} \right\} = 0 \quad (18)$$

L'augmentation de $E \{X_k\}$ en fonction de k suit donc une loi logarithmique, tout comme l'augmentation du nombre des rencontres en fonction du temps postulée par PIAGET.

Nous sommes ainsi en mesure d'apporter une nouvelle précision aux formulations du modèle piagétien : ce qui croît logarithmiquement en fonction du temps c'est le *nombre moyen* (ou le *nombre probable*) des rencontres effectuées depuis le début du processus.

Voilà pour ce qui est des rencontres. Maintenant essayons de rendre compte du processus des couplages.

3. Formalisation du processus des couplages

On se souviendra que pour PIAGET il y a "couplage" lorsque le sujet met en correspondance chaque rencontre effectuée sur un objet A avec chaque rencontre effectuée sur un objet B, et que, si le nombre des rencontres sur A et sur B est le même à chaque moment du processus, les couplages ont de fortes chances d'être "complets"; dans le cas contraire où le nombre des rencontres sur A n'est pas le même que celui sur B, les couplages seront très probablement "incomplets". C'est à ces couplages incomplets qu'il faut attribuer les déformations perceptives constatées expérimentalement. En outre, dans le cas d'une différence entre les nombres des rencontres sur A et sur B, la plus forte probabilité de couplages incomplets se situera autour du milieu du processus perceptif, étant donné le caractère logarithmique de l'augmentation du nombre des rencontres en fonction du temps d'observation.

Nous commencerons donc par poser, dans le langage que nous avons adopté ici :

- a' — on dispose de deux grilles A et B, contenant respectivement N_a et N_b trous;
- b' — on jette sur chacune des grilles un certain nombre de balles, k fois de suite;
- c' — on admet que la probabilité qu'un trou de la grille A capte une balle est p_a , alors que la probabilité qu'un trou de la grille B capte une balle est p_b , et que soit p_a soit p_b sont constantes à travers k ;
- d' — on admet enfin qu'un trou de la grille A ou de la grille B capte une seule balle au plus.

A ces postulats qui reflètent fidèlement les postulats a, b, c et d posés plus haut, il faut en ajouter un autre, afin de réduire la complexité du modèle :

- e' — les probabilités p_a et p_b sont indépendantes.

A chaque jet, on aura donc n_a trous occupés sur la première grille et n_b trous occupés sur la deuxième.

On appellera X_k la variable représentant le nombre de trous occupés sur la grille A après k jets et Y_k la variable représentant le nombre de trous occupés sur la grille B après k jets.

En vertu de (11), (12) et (13), on peut admettre que les distributions de probabilités des deux variables X_k et Y_k sont binomiales, avec comme paramètres :

$$E\{X_k\} = N_a \left[1 - (1 - p_a)^k \right] \quad (19)$$

$$\text{VAR}\{X_k\} = N_a \left[1 - (1 - p_a)^k \right] (1 - p_a)^k \quad (20)$$

et

$$E\{Y_k\} = N_b \left[1 - (1 - p_b)^k \right] \quad (21)$$

$$\text{VAR}\{Y_k\} = N_b \left[1 - (1 - p_b)^k \right] (1 - p_b)^k \quad (22)$$

On peut, en outre, définir une nouvelle variable $X_k - Y_k$, exprimant la différence entre le nombre n_a de trous occupés sur A et le nombre n_b de trous occupés sur B, après k tirages.

La fonction de probabilité de cette nouvelle variable sera alors :

$$P(X_k - Y_k = m) = \sum_{j=0}^m \left[P(X_k = m - j) \cdot P(Y_k = j) \right] \quad (23)$$

Soit, en développant (d'après (14)) :

$$P(X_k - Y_k = m) = \sum_{j=0}^{N_a} \left\{ \binom{N_a}{m-j} \left[1 - (1 - p_a)^k \right]^{m-j} (1 - p_a)^{k(N_a - m+j)} \right\} \cdot \left\{ \binom{N_b}{j} \left[1 - (1 - p_b)^k \right]^j (1 - p_b)^{k(N_b - j)} \right\} \quad (24)$$

ce qui donne une expression plutôt malaisée à manipuler.

Mais, en fait, ce qui nous intéresse vraiment est la différence entre les deux *espérances* $E\{X_k\}$ et $E\{Y_k\}$ c'est-à-dire l'espérance de la variable $X_k - Y_k$:

$$E\{X_k - Y_k\} = E\{X_k\} - E\{Y_k\} \quad (25)$$

En substituant :

$$E\{X_k - Y_k\} = N_a \left[1 - (1 - p_a)^k \right] - N_b \left[1 - (1 - p_b)^k \right] \quad (26)$$

Dans le cas où $N_a = N_b$, l'expression (26) peut se simplifier :

$$E\{X_k - Y_k\} = N \left[(1 - p_b)^k - (1 - p_a)^k \right] \quad (27)$$

La formule (27), traduite dans le langage piagétien, nous donne donc la *grandeur probable de la différence* entre le nombre des rencontres sur l'objet A et le nombre des rencontres sur l'objet B réalisées depuis le début du processus jusqu'à l'intervalle temporel k y compris, en assumant que le nombre N d'éléments rencontrables est le même pour A et pour B, et que les probabilités élémentaires de rencontres p_a et p_b sont différentes et indépendantes.

Etant donné que la probabilité d'avoir des couplages incomplets est en relation directe avec la différence entre le nombre des rencontres sur A et le nombre des rencontres sur B, i.e. avec la variable $E\{X_k - Y_k\}$, il suffira alors de démontrer que $E\{X_k - Y_k\}$ a un maximum absolu pour montrer également que la probabilité de couplages incomplets est maximale pour certaines valeurs de k .

L'expression (27), en négligeant N , est une fonction du type :

$$f(x) = a^x - b^x \quad (28)$$

Sa dérivée première est :

$$f'(x) = a^x (\ln a) - b^x (\ln b) \quad (29)$$

En égalisant à zéro et en résolvant, on trouve :

$$X = \ln \left(\frac{\ln b}{\ln a} \right) \cdot \frac{1}{\ln \left(\frac{a}{b} \right)} \quad (30)$$

En retraduisant l'équation (30) dans nos symboles, on trouve donc que la valeur de k pour laquelle la variable $E \{X_k - Y_k\}$ a son maximum, indépendamment de N , est donnée par :

$$k = \ln \left[\frac{\ln (1 - p_a)}{\ln (1 - p_b)} \right] \cdot \frac{1}{\ln \left[\frac{(1 - p_b)}{(1 - p_a)} \right]} \quad (31)$$

L'équation (31), en termes piagétien, nous indique donc à quel moment du processus perceptif on a la plus grande différence probable entre les rencontres sur l'objet A et les rencontres sur l'objet B, c'est-à-dire à quel moment du processus perceptif la probabilité d'avoir des couplages incomplets est maximale, en assumant que le nombre d'éléments "rencontrables" est le même pour l'objet A et pour l'objet B, et que les probabilités qu'un élément rencontrable soit effectivement rencontré sont respectivement p_a et p_b .

4. Exemples numériques

A titre d'exemple, nous avons fait calculer à l'ordinateur la fonction (27) pour différentes valeurs de p_a et de p_b , en posant $N = 1.000$ et $k = 0.5; 1; 1.5; 2; 2.5; 3$; etc. Nous avons résumé dans le Tableau I les valeurs maximales trouvées.

TABLEAU I :

Valeurs maxima de $E\{X_k - Y_k\}$ et valeurs k correspondantes pour quelques valeurs de p_a et p_b , et pour $N = 1000$

p_a	p_b	$\max E\{X_k - Y_k\}$	k
.95	.90	92.6210	0.5
.90	.89	15.4347	0.5
"	.85	71.0706	0.5
"	.80	130.9858	0.5
"	.70	231.4948	0.5
"	.60	316.2278	0.5
"	.50	400.0000	1.0
"	.40	500.0000	1.0
"	.30	600.0000	1.0
"	.20	700.0000	1.0
"	.10	822.1922	1.5
.85	.80	59.9153	0.5
.80	.79	11.0440	0.5
"	.75	52.7864	0.5
"	.70	100.5089	0.5
"	.60	200.0000	1.0
"	.50	300.0000	1.0
"	.40	400.0000	1.0
"	.30	500.0000	1.0
"	.20	626.0990	1.5
"	.10	770.0000	2.0
.75	.70	50.0000	1.0
.70	.69	10.0000	1.0
"	.65	50.0000	1.0
"	.60	100.0000	1.0
"	.50	200.0000	1.0
"	.40	300.4412	1.5
"	.30	421.3452	1.5
"	.20	551.2250	1.5
"	.10	720.0000	2.0
.65	.60	50.0000	1.0
.60	.59	10.0000	1.0
"	.55	50.0000	1.0
"	.50	100.5712	1.5
"	.40	211.7758	1.5
"	.30	332.6798	1.5
"	.20	480.0000	2.0
"	.10	667.2406	2.5

p_a	p_b	$\max E \{X_k - Y_k\}$	k
.55	.50	51.6842	1.5
.50	.49	10.6594	1.5
"	.45	54.3375	1.5
"	.40	111.2046	1.5
"	.30	240.0000	2.0
"	.20	395.6567	2.5
"	.10	604.0000	3.0
.45	.40	57.5000	2.0
.40	.39	12.1000	2.0
"	.35	62.5000	2.0
"	.30	131.1086	2.5
"	.20	296.0000	3.0
"	.10	526.5000	4.0
.35	.30	69.3330	2.5
.30	.29	14.9110	3.0
"	.25	78.8750	3.0
"	.20	170.9723	3.5
"	.10	422.4200	5.0
.25	.20	93.1937	4.0
.20	.19	21.0631	4.5
"	.15	116.0253	5.0
"	.10	269.7004	6.5
.15	.10	158.1948	7.5
.1001	.10	0.3878	9.5
.10	.09	40.7377	10.0
.099	.09	4.2640	10.5
.095	.09	20.8808	10.5
.10	.05	259.2014	13.5
.06	.01	588.7711	35.0

En examinant le Tableau I, on s'aperçoit aisément que la valeur maximale de $E\{X_k - Y_k\}$ correspond à un k petit (compris entre zéro et 1.0) lorsque p_a et p_b assument des valeurs élevées (comprises entre .90 et .60), alors qu'elle se déplace vers un k plus grand (supérieur à 1.0) lorsque p_a et p_b prennent des valeurs plus faibles (inférieures à .60), et cela d'une manière relativement indépendante de la différence entre p_a et p_b .

En langage piagétien, cela signifie que la probabilité maximale de couplages incomplets se situera aux premiers instants du processus perceptif si les probabilités de rencontres sont élevées, alors qu'elle se manifestera plus tardivement si les probabilités de rencontres sont relativement faibles sur les deux objets à percevoir. Autrement dit, le maximum temporel d'illusion ou de déformation perceptive dépend de la probabilité qu'un élément renconrable de la figure à percevoir soit effectivement rencontré : si cette probabilité est élevée, le maximum sera précoce, si elle est moyenne ou faible, le maximum sera retardé.

Avant de confronter le modèle aux résultats expérimentaux déjà établis et de formuler nos hypothèses de travail, résumons brièvement les points principaux de notre formalisation :

- l'activité perceptive élémentaire peut être interprétée comme un jeu de "rencontres" entre éléments percevant du sujet et éléments à percevoir de l'objet, à l'instar de balles qui, jetées au hasard sur une grille à trous, vont occuper un certain nombre de ces trous;
- ce processus probabiliste se déroule dans le temps jusqu'à ce que tous les N éléments de l'objet soient "rencontrés" par les M éléments du sujet, et il est uniquement déterminé par la probabilité élémentaire — et invariante — p qu'un élément renconrable soit effectivement rencontré;
- à chaque instant du processus, le nombre n de rencontres, ou de trous occupés par une balle, obéit à une loi binomiale définie par $P(n; N, p)$ (14);
- au cours du processus, le nombre probable de rencontres $E\{n\}$ (15) augmente de façon logarithmique, et plus ou moins rapidement en fonction de p ;
- si l'objet à percevoir A n'est pas présenté seul, mais qu'il est à confronter à un autre objet B , alors les rencontres effectuées sur A vont être "couplées" aux rencontres effectuées sur B , pour que la comparaison entre les deux objets soit possible;
- la comparaison entre A et B sera d'autant plus précise et fidèle que ces couplages seront complets, reliant ainsi toute rencontre sur A à toute rencontre sur B ; si, par contre, les couplages sont incomplets, la comparaison en sera alors affectée et l'on assistera à des déformations perceptives systématiques;
- des couplages incomplets ont une forte chance d'apparaître lorsque le nombre probable de rencontres n_a effectuées sur l'objet A n'est pas le même que le nombre probable de rencontres n_b effectuées sur B , c'est-à-dire lorsqu'il existe une différence entre la probabilité p_a d'une rencontre sur A et la probabilité p_b d'une rencontre sur B ;

- cette différence probable $E\{n_a - n_b\}$ (27), entre rencontres sur A et rencontres sur B, est une variable qui dépend uniquement de p_a et de p_b , et qui évolue au cours du processus de perception, comme évoluent $E\{n_a\}$ et $E\{n_b\}$;
- étant donné que $E\{n_a\}$ et $E\{n_b\}$ augmentent logarithmiquement, la variable $E\{n_a - n_b\}$ présentera un maximum à un instant k précis du processus;
- cet instant k est entièrement déterminé par p_a et p_b (31), et il est d'autant plus tardif que les valeurs de p_a et p_b sont relativement faibles (Tableau I);
- cela nous permet donc d'affirmer qu'au cours d'un processus de perception l'on assistera à un maximum temporel de déformation perceptive — dûe à des couplages incomplets — qui se manifestera précocement si les rencontres sur les différentes parties de la figure peuvent avoir lieu facilement, plus tardivement si les rencontres ne peuvent s'effectuer que dans une mesure restreinte.

II. SPECIFICATION DES HYPOTHESES DE TRAVAIL

1. Où l'expérimentation est possible

La formulation proposée du modèle piagétien repose donc sur trois variables fondamentales : N , le nombre d'unités élémentaires "rencontrables" dont est composé l'objet à percevoir (ou l'appareil perceptif du sujet, peu importe, le problème étant symétrique); p , la probabilité qu'un de ces éléments soit effectivement "rencontré"; et k , variable représentant les instants successifs du processus perceptif.

Malheureusement, aucune de ces trois variables n'est — actuellement — directement accessible au contrôle expérimental : si N pouvait à la rigueur être approximée par une mesure de la grandeur de la figure à percevoir (mais alors, quelle mesure ? linéaire ou de surface ? en cm., mm., dixièmes de mm. ?), si k pouvait être contrôlée par des méthodes tachistoscopiques (et là encore le problème de l'unité de mesure choisie se présente à nouveau), il nous semble extrêmement difficile, sinon impossible, d'exercer un contrôle spécifique quelconque sur p .

PIAGET lui-même avait signalé cette difficulté, mais en proposant déjà la bonne méthode pour la contourner (PIAGET, 1961, ch. II, § 6, p. 155-156) :

"Il ne saurait naturellement être question d'une vérification par l'expérience aboutissant à une mesure des "rencontres" et des "couplages" hypothétiques au moyen desquels nous avons cherché à expliquer les effets de centration fournis par l'observation. Par contre l'idée centrale qui inspire ce modèle peut être soumise au

contrôle des faits, cette hypothèse de base étant celle de la dualité des processus de centration (rencontres et couplages incomplets) et de décentration (couplages complets) et de l'opposition du sens de leurs actions dans le mécanisme des déformations perceptives ou illusions.

En effet, tandis que le détail des rencontres et des couplages ne constitue qu'un exemple de calcul possible, l'idée centrale du modèle est qu'il existe, d'une part, des surestimations absolues pouvant différer d'un élément à l'autre (rencontres dûes aux centrations) et conduisant alors à des surestimations relatives (couplages incomplets), mais qu'il existe aussi une coordination des centrations (= décentration) conduisant à homogénéiser les surestimations absolues et par conséquent à supprimer les surestimations relatives (couplages complets). Ce qu'on peut alors attendre de l'expérience est qu'elle confirme ou infirme cette dualité d'actions orientées en sens opposé.

Or, il est un domaine de l'expérimentation dans lequel cette question prend un sens précis et décidable : c'est celui des accroissements (ou diminutions) quantitatifs des illusions en fonction des durées de présentation et à partir des durées les plus courtes. En effet, si les actions de centration orientées vers la surestimation absolue étaient seules en jeu, on devrait observer un accroissement continu des illusions en fonction de l'augmentation des durées de présentation, du moins entre les durées les plus courtes et la durée moyenne de vision libre (1 à 3 sec.). Au contraire, si les actions de décentration étaient seules en jeu, on devrait assister à une décroissance graduelle de l'illusion en fonction des durées croissantes, et cela à partir d'une situation initiale d'illusion *maximum* due à l'impossibilité des comparaisons actives et des explorations aux durées les plus courtes. Si enfin les deux facteurs interviennent concurremment, on doit s'attendre à une augmentation des effets de centration (surestimation absolue et couplages incomplets avec surestimation relative) avec l'accroissement des durées, mais aussi à une augmentation des effets de décentration (couplages complets conduisant aux compensations ou suppressions des surestimations relatives). En ce cas, le résultat le plus probable serait la croissance initiale de l'illusion, puis la décroissance après un *maximum* (temporel) pour les durées intermédiaires. Même si le *maximum* n'était pas général, son existence en un nombre suffisant de situations différentes (variétés d'illusion répondant aux diverses formules du chap. I) répondant toutes à la loi des centrations relatives, suffirait à démontrer la dualité des facteurs de centration et de décentration ainsi que leurs actions orientées en sens opposés, puisqu'un *maximum* résulte nécessairement d'un conflit entre un facteur de renforcement dominant jusqu'au point maximal et un facteur de modération l'emportant à partir de ce point."

Une vérification suffisamment puissante du modèle proposé serait donc la présence systématique d'un *maximum temporel d'illusion* ou de déformation perceptive : et cela est un fait facile à mettre en évidence expérimentalement, en utilisant la méthode tachistoscopique.

Une telle confirmation nous paraît particulièrement importante, car la présence d'un *maximum temporel d'illusion* est nécessairement prédite non seulement par le modèle théorique qui prévoit les deux mécanismes antagonistes décrits par PIAGET, mais également par la formulation mathématique que nous avons proposée : en effet, pour p_a et p_b inférieurs à 1., $E\{X_k - Y_k\}$ (27) doit avoir un maximum.

En résumé, si donc N , p et k échappent à un contrôle expérimental direct, la présence de $\max E\{X_k - Y_k\}$ en fonction de k peut être vérifiée expérimentalement (à condition de choisir pour k une unité suffisamment fine), et cela est suffisant pour confirmer le modèle proposé.

2. Ce qui a déjà été fait

PIAGET et ses collaborateurs se sont attaqués à ce problème et ont pu mettre en évidence, avec une systématité surprenante, la présence de ce *maximum temporel d'illusion* pour la majorité des illusions optico-géométriques classiques. L'ensemble de ces résultats, recueillis lors de nombreuses recherches, ont été réunis par PIAGET dans une de ses publications récentes (PIAGET, 1961, ch. II, §6), à laquelle nous nous référons ici pour rappeler, dans notre Tableau II, les données principales.

TABLEAU II :

*Maximums temporels d'illusion * trouvés par PIAGET et coll. à quelques illusions classiques*

* (en % d'erreur par rapport à l'étalon)

ENFANTS (5-7 ans)

sec.	0.04	0.1	0.2	0.5	1.	1.
Oppel-Kundt	1.0	1.6	4.3	6.0	5.6	5.1
T renversé (fix. sur verticale)	—	35.5	39.5	—	38.5	32.5
idem (fix. sur horizontale)	25.0	26.3	26.8	—	28.1	29.5
Equerre (fix. sur verticale)	4.0	8.0	3.6	2.6	4.4	5.0
Equerre (fix. sur horizontale)	-2.4	-2.0	+3.2	2.8	2.4	—
Rectangle	17.2	4.5	4.4	26.0	24.4	—
Losange (diagonales)	-14.4	-13.6	-13.6	-13.0	-11.6	—
Müller-Lyer	42	62	33.3	38.6	—	34.3
Delboeuf	8.1	15.7	16.7	28.1	12.1	—

ADULTES

sec.	0.02	0.04	0.1	0.2	0.5	1.	1.
Oppel-Kundt	—	3.6	6.8	8.2	6.8	6.9	7.2
T renversé (fix. sur verticale)	—	28.1	43.0	38.5	—	32.2	26.1
idem (fix. sur horizontale)	—	30.0	30.5	32.5	—	32.3	28.5
Equerre (fix. sur verticale)	6.9	7.6	12.4	9.6	7.2	7.0	6.3
Equerre (fix. sur horizontale)	4.0	4.2	4.6	2.8	0.6	1.2	1.8
Rectangle	2.9	4.2	4.8	5.4	5.4	8.9	5.8
Losange (diagonales)	-10.2	-9.4	-7.6	-6.6	-6.6	-6.0	—
Losange (médiane)	12.8	13.4	12.6	12.2	10.4	8.8	—
Müller-Lyer	68.3	40	62	35	36.6	—	29.6
Delboeuf	-5.1	-2.7	-5.6	-0.5	+2.9	+8.8	—

L'examen du Tableau II met en évidence deux faits d'importance capitale pour notre problème : tout d'abord, dans chacune des dix situations étudiées, on observe toujours la présence d'un *maximum temporel* d'illusion, tant chez les enfants que chez les adultes, ce qui confirme l'hypothèse de PIAGET (loc. cit. p. 35-37) de l'existence des deux mécanismes antagonistes et complémentaires des "rencontres" et des "couplages"; en second lieu, les *maxima temporels* observés chez les enfants sont en général plus tardifs que ceux observés chez les adultes : d'après notre formulation mathématique (cf. en particulier au Tableau I), cela indiquerait que la probabilité de "rencontre" est plus faible chez les enfants que chez les adultes; or, sachant par ailleurs que les fixations du regard et les mouvements oculaires d'exploration sont bien mieux organisés chez l'adulte que chez l'enfant, comme l'ont montré PIAGET et VINH-BANG (cf. PIAGET, 1961, p. 176-180), il nous paraît vraisemblable d'admettre que le type d'exploration "anarchique" des enfants a comme effet de réduire leur probabilité de "rencontre", ce qui expliquerait les résultats observés et par là même donnerait à ce deuxième fait une valeur importante de vérification, non seulement du modèle théorique, mais également de la formulation proposée. D'ailleurs, d'autres faits encore pourraient être invoqués qui vont dans le sens d'une probabilité de rencontres plus faible chez les enfants que chez les adultes : par exemple, dans une recherche en cours, VINH-BANG, au moyen de

stimuli géométriques simples (des carrés à contour interrompu) présentés tachistoscopiquement en vision périphérique, trouve que les centrations des enfants sont bien moins “enveloppantes” que celles des adultes, ce qui revient donc à dire que, lors d’une centration du regard, l’enfant “fait” moins de rencontres que l’adulte.

3. Ce qu’il resterait à faire

Devant une telle cohérence et la convergence d’un tel nombre d’observations expérimentales en faveur du modèle piagétien des “rencontres” et des “couplages”, rien n’est plus naturel que de s’interroger sur l’utilité de nouvelles vérifications, car on peut avoir vraiment l’impression que tout a déjà été fait et dit pour que ce modèle explicatif s’impose.

Cependant, à part la considération assez lapalissienne que dans la recherche scientifique on n’a jamais tout fait ou tout dit, il ne nous paraît pas inutile de tester la *généralité* d’une hypothèse explicative, même lorsque celle-ci semble tout à fait admise par rapport aux processus pour lesquels elle a été construite.

En effet, tant la première formulation du modèle (PIAGET, LAMBERCIER, BOESCH & VON ALBERTINI, 1942) que ses développements ultérieurs (PIAGET, 1955 et PIAGET, 1961) ont été proposés pour rendre compte des phénomènes de déformation perceptive connus sous le nom de “illusions optico-géométriques”, dans l’espoir d’aboutir à une hypothèse explicative valable pour l’ensemble des illusions. Cet espoir, nous pouvons aujourd’hui admettre qu’il a été pleinement réalisé. Mais il nous semble aussi que la valeur prédictive du modèle piagétien dépasse de beaucoup le champ limité des illusions optico-géométriques : VURPILOT paraît également se rallier à notre opinion, en classant les propositions de PIAGET parmi les “théories générales de la perception” (VURPILOT, 1963), et non parmi les “théories applicables à l’ensemble des illusions optico-géométriques”.

Cependant, la plupart des données expérimentales sur lesquelles le modèle piagétien repose portent sur des déformations perceptives se manifestant à l’intérieur des illusions optico-géométriques classiques ou légèrement modifiées, mis à part quelques résultats relatifs à la comparaison de simples segments de droite (PIAGET, 1961, Partie I).

Dans ces conditions, un esprit plus critique ou moins convaincu que nous pourrait objecter que le fait d’avoir expérimenté essentiellement sur des illusions peut non seulement réduire la portée générale des explications proposées, mais surtout ne pas fournir une preuve suffisante que les mécanismes déformants se situent uniquement à l’intérieur de l’activité perceptive du sujet, car les illusions optico-géométriques pourraient — comme leur nom semble le suggérer — contenir en elles-mêmes des éléments ou des configurations déjà déformantes qui conditionneraient ou limiteraient l’activité perceptive du sujet.

A cette objection on pourrait déjà opposer le phénomène du *maximum temporel* rencontré dans la plupart des illusions, car il est bien difficile qu'il soit le résultat de configurations géométriques particulières, indépendamment de l'activité exploratrice du sujet; de plus, toute évolution — microgénétique ou macrogénétique — de la valeur d'une illusion, que ce soit dans le sens d'une augmentation ou d'une diminution, ne peut que parler en faveur du rôle prépondérant de l'activité du sujet.

Mais il reste néanmoins le fait — en soi secondaire, nous l'admettons volontiers — que le modèle des "rencontres" et des "couplages" a été testé en grande partie sur un matériel assez particulier, celui des illusions, où les résultats obtenus dépendent grandement des dimensions objectives de la figure, du point de fixation, etc., et où le caractère déformant et intrinsèque de l'activité perceptique n'apparaît que relativement à certains types de configurations.

Il nous a donc semblé utile de rechercher une situation expérimentale nouvelle qui soit la plus "neutre" et générale possible, où l'aspect figural soit réduit au minimum, où aucune variable du stimulus ne peut laisser prévoir des déformations du jugement, et de la confronter au modèle piagétien afin de mettre mieux en évidence la généralité de celui-ci.

En fait, lorsqu'on veut tester l'adéquation d'un modèle à une réalité, il y a deux procédures possibles : on peut, d'une part, analyser soigneusement cette réalité pour en extraire les paramètres fondamentaux et voir ensuite si les observations ainsi faites peuvent être décrites et expliquées d'une manière satisfaisante par le modèle : une telle procédure était déjà préfigurée par les recherches des "lois" psychophysiques du début du siècle — même s'il ne s'agissait pas encore à proprement parler de "modèles" —; mais on peut aussi, d'autre part, suivre un chemin en quelque sort "inverse" : réaliser un modèle concret et réel qui est censé fonctionner selon les lois postulées par le modèle théorique abstrait; le faire fonctionner et vérifier ensuite, d'une part, s'il fonctionne vraiment, et s'il produit réellement les effets prédits par le modèle abstrait, d'autre part; en quelque sorte, on oblige la réalité à se comporter comme la théorie pense qu'elle *devrait* se comporter, et on examine ensuite si elle résiste ou non : c'est la procédure de la "simulation" qui a récemment atteint une valeur expérimentale indéniable grâce à l'avènement des grands ordinateurs¹. Bien entendu, ces deux voies ne sont nullement antagonistes, mais au contraire complémentaires, et c'est leur réalisation conjointe — ou mieux alternée — qui peut contribuer à l'affirmation d'un modèle.

¹ Qui peut être réalisée non seulement avec des ordinateurs, mais aussi avec des organismes vivants, ou avec les deux à la fois, comme BEER (1966), par exemple, le suggère.

4. Ce que nous nous proposons de faire

Ainsi, dans notre recherche d'une situation expérimentale "neutre" et par là même facilement généralisable, nous en sommes arrivés à nous demander s'il n'était pas plus profitable d'emprunter la voie de la simulation, l'autre ayant déjà été suffisamment explorée par PIAGET et ses collaborateurs.

Même si nous n'avons pas à notre disposition un ordinateur suffisamment souple et équipé pour procéder à une simulation à proprement parler, nous pouvons néanmoins tenter de nous approcher d'une telle procédure en plaçant des sujets (humains) dans une situation expérimentale où ils ne puissent "fonctionner" que de la manière décrite par le modèle, et voir ainsi si l'on trouve les effets que le modèle prévoit dans son fonctionnement.

Parmi les différentes hypothèses du modèle piagétien, celle relative aux "couplages incomplets" et à leur *maximum temporel* nous paraît la plus importante, d'une part parce qu'elle "résume" en quelque sorte tout le modèle, et d'autre part parce qu'elle contient la plus grande valeur explicative des phénomènes de déformation perceptive constatés expérimentalement. C'était aussi l'opinion de PIAGET et de ses collaborateurs lorsqu'ils ont conduit toute une série d'expériences pour mettre en évidence le phénomène du *maximum temporel* des illusions optico-géométriques — tel que nous l'avons exposé plus haut — et qu'ils ont justement proposé les résultats obtenus comme

"justification expérimentale du schéma des rencontres et des couplages". (PIAGET, 1961, p. 155).

Mais, une fois encore, ils l'ont fait en expérimentant essentiellement sur le matériel particulier des illusions. Il pouvait donc sembler opportun d'essayer de se libérer de ce type de matériel, de se libérer même de tout matériel figural.

Rappelons rapidement ce qui est postulé par le modèle :

- pour juger de l'égalité ou de l'inégalité de deux objets, le sujet distribue *au hasard* des "rencontres" sur l'un et sur l'autre des objets;
- parallèlement, il procède à des "couplages" (i.e. des correspondances biunivoques) entre les rencontres ainsi effectuées sur l'un et sur l'autre des objets;
- c'est en fonction de ces couplages que le sujet peut émettre son jugement et dire si l'un des objets est plus grand que l'autre (i.e. s'il y a eu plus de rencontres sur l'un que sur l'autre);
- la précision du jugement dépend donc du caractère plus ou moins homogène de ces couplages : s'ils sont incomplets ou polarisés en certaines zones, on ne pourra pas savoir avec suffisamment de certitude où il y a eu plus de rencontres;

— or, indépendamment de facteurs extérieurs pouvant troubler ce processus et polariser les rencontres et les couplages en certaines zones du champ perceptif, il se trouve que les couplages ont de fortes chances d'être homogènes lorsqu'ils portent soit sur un petit nombre de rencontres (dans ce cas ils seront effectivement "complets") soit sur un grand nombre de rencontres; lorsqu'ils portent par contre sur un nombre de rencontres intermédiaire, ils ont de fortes chances d'être mal distribués (ou incomplets) et d'induire ainsi un jugement incorrect sur le nombre de rencontres de part et d'autre.

C'est donc là le noeud du problème : *indépendamment de la figure observée*, on devrait — selon le modèle — assister à un *minimum* de jugements perceptifs corrects lorsque le nombre de rencontres effectuées est ni trop grand ni trop faible.

Nous avons donc eu l'idée de "simuler" en quelque sorte ce processus de "rencontres" et de "couplages", en proposant à nos sujets un certain nombre de rencontres aléatoires et en leur demandant de juger où ce nombre avait été le plus grand, et cela pour différents nombres de rencontres; en outre, nous avons cherché à minimiser le plus possible le rôle de facteurs figuraux.

Nous croyons avoir réalisé notre idée en procédant de la manière suivante : le sujet observe, dans la pénombre, deux petites lampes; chacune des lampes peut s'allumer pendant un temps très bref et indépendamment l'une de l'autre, mais les allumages se succèdent *aléatoirement* dans le temps; après une période d'observation donnée, le sujet doit juger laquelle des deux lampes s'est allumée le plus souvent.

Cette situation expérimentale nous paraît reproduire assez fidèlement le problème que nous nous sommes posé : en effet, les allumages aléatoires des lampes pourraient être assimilés à des "rencontres" qui — selon le modèle — se distribuent également au hasard au cours du processus perceptif; en outre, pour pouvoir décider laquelle des deux lampes s'est allumée le plus souvent (i.e. où il y a eu plus de rencontres), notre sujet doit d'une manière ou d'une autre procéder à un appareillage continu entre les deux séries d'allumages : ce qui simulerait donc — à un autre niveau, bien sûr — le processus de mise en correspondance biunivoque propre aux "couplages"; et enfin, étant donné que l'expérience se déroule dans la quasi obscurité, les brefs éclairs lumineux deviennent pratiquement a-dimensionnels et toute référence figurale ou spatiale est ainsi détruite.

Dans ces conditions, en faisant varier de manière opportune la fréquence moyenne d'allumage des lampes (i.e. le nombre de rencontres), on devrait observer — d'après le modèle — que le sujet émet des jugements plus souvent corrects lorsque cette fréquence est faible ou élevée que lorsqu'elle prend une valeur intermédiaire. On devrait donc retrouver le phénomène du *maximum* (temporel) d'illusion, mais sous

forme d'un *minimum* de jugements corrects, et cela dans une situation neutre où il n'y a pas de facteurs figuraux ou spatiaux qui pourraient être tenus pour responsables des déformations éventuelles du jugement perceptif.

Nous sommes bien conscients du caractère très approximatif de notre "simulation" : en effet, peut-on vraiment considérer chaque allumage comme une et une seule rencontre; ne se pourrait-il pas que le sujet effectue plusieurs rencontres sur un même éclair, voire aussi sur des intervalles "noirs" ? En outre, sommes-nous assurés que le sujet procède vraiment à des "couplages" entre les allumages; ne pourrait-il pas utiliser d'autres techniques d'analyse ? Enfin, et surtout, peut-on vraiment assimiler la tâche que nous demandons à nos sujets, et qui est d'un niveau assez élevé, à un mécanisme perceptif qui, lui est fortement automatisé ?

Sans pour autant clore d'ores et déjà ces discussions fondamentales, nous pouvons néanmoins, dès maintenant, opposer à ces trois critiques les considérations suivantes : tout d'abord, le nombre "réel" de rencontres que le sujet pouvait effectivement réaliser dans notre situation expérimentale nous paraît peu important par rapport à notre problème : en effet, nous avons voulu "*simuler*" le processus des rencontres, et non pas contrôler le nombre "réel" de celles-ci; nous avons *représenté* les rencontres par des éclairs lumineux, et c'est donc le nombre de ces éclairs qui compte pour nous, car c'est entre les éclairs — et non pas entre les rencontres réelles — que nous avons demandé à nos sujets de procéder à des "couplages". Bien entendu, le processus "réel" se superpose à celui simulé; mais, d'une part, nous ne pouvions le mesurer et, d'autre part, il se trouve en relation directe avec le processus simulé dont il ne devrait donc qu'amplifier les effets. La deuxième question est plus pertinente : en effet, nous n'avons pas demandé expressément à nos sujets de procéder à des "couplages" entre les deux séries d'allumages; nous avons pensé que les caractéristiques de nos stimuli et la nature même de la tâche devait, tôt ou tard, porter nos sujets à adopter la procédure voulue. Un contrôle direct était évidemment difficile à réaliser, mais en interrogeant chaque sujet après chaque passation, nous espérions pouvoir nous rendre compte si sa procédure était proche de celle que nous avions anticipée et si une bonne concordance des récits recueillis (ce qui est effectivement le cas, nous le verrons plus loin) pouvait apporter une réponse rassurante, quoique non définitive, à cette deuxième interrogation. La troisième question est bien plus fondamentale : dans quelle mesure ce "réductionnisme" de l'inférieur au supérieur est-il légitime ? Deux phrases de PIAGET pourraient nous faire entrevoir une réponse possible :

"...Notre conclusion provisoire est donc qu'il existe sans doute à tout âge des activités perceptives dont les effets de champ constituent la sédimentation..." (PIAGET, 1963, p. 56).

et ailleurs :

“...nous retrouvons ainsi la double nature de la perception : source d’erreurs systématiques, d’une part, mais reflet et préfiguration indirecte de l’intelligence, d’autre part,...” (PIAGET, 1961, p. 452).

Les mécanismes perceptifs seraient donc en même temps le fruit d’une *sédimentation* de schèmes d’action appartenant déjà aux activités du sujet, et la source de *préfigurations* de schèmes opératifs relevant ultérieurement de l’intelligence. Dans ce sens, le mécanisme des “rencontres” et des “couplages” pourrait représenter la sédimentation d’une activité réelle d’exploration et de mise en correspondance élaborée très tôt du point de vue génétique; d’ailleurs, nul ne peut nier que, derrière l’aspect fortement automatisé de ce mécanisme de conduite, l’activité d’exploration du sujet joue encore un grand rôle, et cela à tout âge.

Si donc ce mécanisme est une sédimentation d’activités déjà de niveau supérieur, et si, d’autre part, il est vrai que son caractère déformant lui est intrinsèque, alors il ne nous paraît pas inconcevable de “exhumer” cette activité, de la replacer à un niveau supérieur et de contrôler si les mêmes déformations subsistent.

Pour résumer, les considérations qui ont guidé notre travail sont les suivantes :

- le modèle piagétien des “rencontres” et des “couplages”, tant dans ses considérations théoriques que dans sa formulation mathématique, postule que les déformations perceptives constatées expérimentalement sont le fruit du caractère déformant *intrinsèque* de l’activité perceptive, même lorsque celle-ci se trouve être fortement automatisée comme dans les mécanismes perceptifs élémentaires décrits par le modèle;
- la manifestation la plus évidente de ce caractère déformant intrinsèque réside dans la présence d’un *maximum* de déformation correspondant à un moment donné du processus, ou — ce qui revient au même — à un nombre donné de rencontres effectuées sur les stimuli;
- l’adéquation du modèle et sa valeur explicative ont déjà fait leur preuve en rendant compte d’une manière très satisfaisante de l’ensemble des déformations perceptives connues sous le nom d’illusions optico-géométriques, mais nous sommes convaincus que la généralité du modèle dépasse de loin le domaine des illusions classiques, et il nous a paru utile de rechercher une situation expérimentale suffisamment indépendante de configurations géométriques particulières afin de mieux mettre en évidence la large applicabilité du modèle d’une part, le caractère intrinsèque des déformations qu’il suppose d’autre part, et d’apporter ainsi une nouvelle confirmation à ce modèle et au contexte théorique dans lequel il s’insère.

Nous avons donc décidé de “simuler” en quelque sorte le processus décrit par le modèle des “rencontres” et des “couplages” par la technique suivante qui répond, à notre avis, aux exigences de généralité et d’indépendance de facteurs figuraux que nous nous étions données : deux petites lampes émettent des éclairs de très courte durée et de façon aléatoire au cours du temps : ce sont des “rencontres” que le sujet observe pendant un laps de temps fixé; pendant ce temps, le sujet doit procéder à des “couplages” entre les deux séries d’éclairs parce qu’à la fin de la période d’observation il devra juger laquelle des deux lampes a donné lieu au plus grand nombre de “rencontres”.

L’hypothèse expérimentale que nous nous apprêtons à confronter aux résultats de notre “simulation” est donc la suivante : dans les réponses du sujet, on devra assister à un *maximum* de jugements incorrects correspondant aux situations où le nombre de “rencontres” (i.e. d’éclairs) présentées est intermédiaire : ni trop grand, ni trop faible, ainsi que le prévoit le modèle.

Troisième partie

TECHNIQUES D'EXPERIMENTATION ET D'ANALYSE DES RESULTATS

I. L'APPAREILLAGE EXPERIMENTAL

Pour produire nos éclairs lumineux et les faire se succéder *au hasard*, nous avons donc besoin d'un générateur stochastique d'impulsions. C'est une chose bien connue qu'avec des procédés mécaniques on n'arrive pas à simuler un processus aléatoire : c'est par des moyens électroniques qu'on peut atteindre le hasard "statistique". L'idéal serait d'utiliser un ordinateur : tous les modèles récents contiennent, parmi leurs sous-routines, un "random numbers generator".

Mais nous ne pouvions pas disposer d'un tel équipement, qui aurait d'ailleurs été inutilement encombrant; ainsi nous avons été amenés à construire un dispositif *ad hoc*.

1. Description de l'appareil

Grâce à la collaboration technique de Monsieur G. AMATO, directeur du laboratoire de recherches électroniques du CERN, pour le projet, et de son collaborateur Monsieur M. DI TORE, pour la réalisation, on a pu construire un générateur stochastique d'impulsions qui utilise, comme source, le bruit blanc émis par une diode. Ce bruit blanc, opportunément amplifié, est envoyé dans un filtre à niveau variable qui laisse sortir un nombre plus ou moins grand de "pointes" selon sa position. Ces impulsions sont ensuite utilisées pour allumer une petite lampe à néon qui a une courbe d'allumage rectangulaire.

Le générateur est composé de 12 canaux identiques et indépendants, chacun construit selon le schéma diode — bruit blanc — filtre variable. Chaque canal comporte deux réglages : un réglage continu du filtre qui permet donc de faire varier le nombre *moyen* (car le processus est aléatoire) d'impulsions par unité de temps; et un réglage, également continu, de la durée d'allumage du néon, qui peut être variée de 1 ms. à 1.000 ms. En outre, chaque canal est relié à un compteur à relais qui compte le nombre d'impulsions — ou d'allumages — effectivement produites. L'ensemble des 12 canaux, avec leur compteur et leurs lampes-témoin, constitue le corps central de l'appareil; à cette unité centrale est reliée par un câble une boîte comportant, sur l'un de ses côtés, 25 lampes-néon disposées selon une grille carrée 5x5 et pouvant être connectées à n'importe quel canal. C'est sur cette unité périphérique qu'apparaissent les éclairs que le sujet observe. L'illustration de la Figure 4 montre l'ensemble du dispositif.

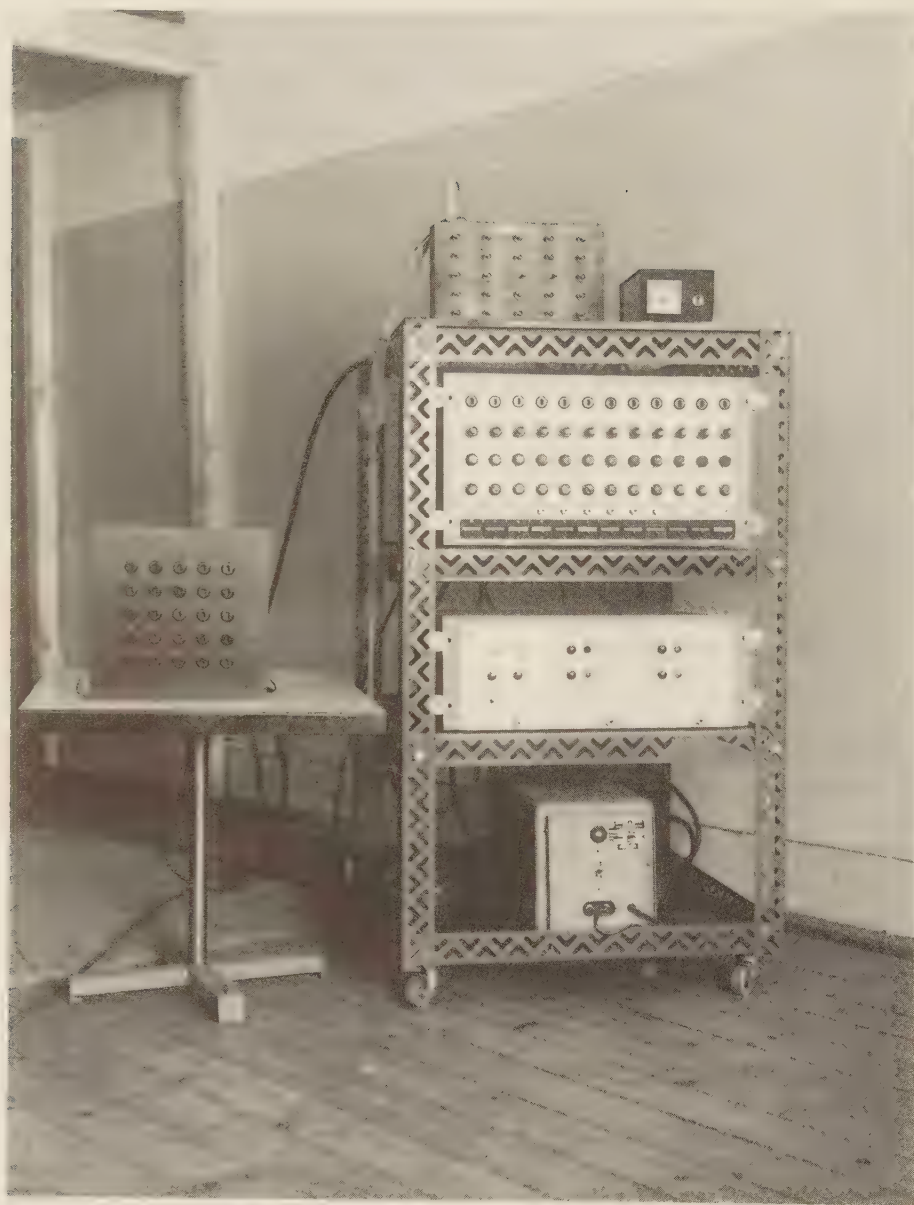


Figure 4 : LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL. A droite, le générateur stochastique d'impulsions, composé de 12 canaux identiques et indépendants. Sur chaque canal on distingue : en haut, la lampe-témoin; plus bas, le réglage du filtre variable, puis le réglage de la durée d'allumage de la lampe; tout en bas, le compteur à relais. Sous le générateur on remarque l'unité d'alimentation et, en-dessous, le stabilisateur de tension. A gauche de ce complexe on distingue l'unité périphérique contenant les 25 lampes-stimuli disposées selon une grille carrée 5x5. Les dimensions sont (en cm.) : complexe générateur — alimentation — stabilisateur : 108 x 60 x 70; boîte des stimuli : 26 x 26 x 6; néon : 1 x 0.5; distance entre deux néons (de centre à centre) : 3.5.

2. Etalonnage de l'appareil

Une fois l'appareil construit, nous avons dû étalonner les différentes positions de réglages du filtre variable, avant de procéder à l'expérimentation que nous avions planifiée. Mais le nombre impressionnant de combinaisons possibles des positions du filtre associées aux modulations de la durée de l'éclair nous a incité à n'étalonner que les réglages qui pouvaient être utiles pour notre expérimentation. Ainsi, nous avons fixé une fois pour toutes la durée de l'éclair lumineux à 100 ms. et fait varier la position du filtre entre un *minimum* correspondant à environ 10 impulsions (en moyenne) par minute et un *maximum* correspondant à la fréquence moyenne de fusion. Cette marge de variation comprend, sur le bouton de réglage, les divisions allant de 1.00 environ à 5.00 environ. Enfin, pour mieux maîtriser le caractère aléatoire des impulsions produites par le générateur, on a enregistré 200 mesures par position du filtre, et ceci pour chaque canal.

Mademoiselle M. RAHMY a bien voulu nous aider dans ce travail et a eu la patience d'enregistrer un total de 16.800 mesures (= nombre d'impulsions par minute), au moyen d'un compteur électronique "Elesta". L'ensemble de ces mesures, ainsi que les distributions de fréquence du nombre d'impulsions par minute pour chaque niveau du filtre et pour chaque canal, accompagnées des moyennes, variances et écarts-types correspondants (calculés pour nous par Monsieur J. RETSCHITZKI sur ordinateur CDC 3800), est consigné dans l'Appendice B du présent travail.

Il suffira de remarquer ici que les distributions observées suivent d'assez près — comme on pouvait le prévoir — la distribution théorique d'un Aléa de Poisson pour les fréquences moyennes d'impulsions faibles et celle d'un Aléa de Gauss pour les fréquences moyennes plus élevées. On pourra également noter qu'il subsiste des écarts parfois appréciables entre les courbes d'augmentation de la fréquence moyenne d'impulsions en fonction de la position du filtre pour les différents canaux; cela semble être dû au spectre caractéristique du bruit émis par la diode, qui n'est que très rarement semblable à celui du bruit émis par une autre diode; bien que nos douze diodes aient été choisies par inspection oscilloscopiques parmi une centaine de pièces, ces différences n'ont pas pu être éliminées.

L'étalonnage de l'appareil nous a donc assuré que son comportement peut être considéré comme statistiquement aléatoire et nous a permis d'appareiller les fréquences moyennes d'impulsions des 12 canaux, malgré les différences inévitables de leur spectre caractéristique.

II. LA TECHNIQUE EXPERIMENTALE

Nous voulions donc “simuler” le processus des “rencontres” et des “couplages” décrit par PIAGET, en proposant au sujet deux séries de “rencontres” aléatoires et en lui demandant de juger où les “rencontres” ont été le plus denses. Avec notre matériel, nous pouvons y parvenir en montrant simultanément à nos sujets deux lampes-néon qui clignotent toutes deux de façon aléatoire, et en leur demandant de juger laquelle des deux s’est allumée le plus souvent au cours de la période d’observation. En contrôlant la fréquence moyenne d’allumage des lampes au moyen du filtre à niveau variable nous pouvons donc mettre en évidence si le jugement des sujets est indépendant du nombre total d’allumage ou bien s’il est moins précis lorsque ce nombre est intermédiaire, c’est-à-dire ni trop grand ni trop petit, comme le prévoit le modèle.

1. Déroulement de l’expérimentation

Pour tous les sujets examinés, l’expérience s’est déroulée de la manière suivante : après avoir laissé au sujet le temps d’adapter sa vision à l’obscurité, on l’installe à environ 2.5-3 m. du panneau où apparaîtront les stimuli. On lui indique, sur le panneau — qui, on s’en souviendra, contient 25 lampes-néon disposées selon une grille carrée 5x5 — où se trouvent les deux lampes qui vont émettre des éclairs au cours de l’expérience. Ces deux lampes sont toujours contiguës, situées sur une ligne horizontale et espacées de 35 mm.; étant donné que la distance d’observation est de 2.5-3 m., le lieu où vont apparaître les stimuli sous-tend donc un angle visuel inférieur à 1° , suffisamment petit pour que l’on soit sûr qu’il tombe en vision fovéale. On donne au sujet la consigne de bien observer les deux lampes qui “vont clignoter de façon irrégulière”, car à notre signal il devra nous dire “laquelle des deux s’est allumée le plus souvent”. On emploie à dessein une formule assez vague (...“le plus souvent”...), pour laisser au sujet la plus grande liberté possible de choisir la stratégie d’observation qu’il croit la meilleure; si l’on avait parlé du “plus grand nombre d’allumages”, par exemple, il y aurait eu de fortes chances que le sujet se sente obligé de compter les éclairs plutôt que d’en apprécier la fréquence ou la densité. Pour garantir cette même liberté, on n’a pas non plus imposé un point de fixation qui aurait été d’ailleurs peu utile étant donné l’angle visuel très restreint, excluant donc la vision périphérique, sinon accidentelle. Le sujet traduit son jugement par la réponse “droite” ou “gauche”, selon qu’à son avis il y a eu plus d’allumages à la lampe de droite ou à la lampe de gauche. La réponse “je ne sais pas” est interdite. En revanche, à la suite de sa réponse “droite” ou “gauche”, le sujet est appelé à fournir également le *degré de certitude* de son propre jugement, exprimé, selon les cas, soit verbalement en une échelle à six valeurs (0 = pas sûr du tout; 1 = très peu sûr; 2 = peu sûr; 3 = assez sûr; 4 = presque sûr; 5 = absolument sûr), soit graphiquement en mettant une coche sur un segment continu.

Après cette brève présentation du matériel et l'explication de la consigne, on propose au sujet une dizaine de présentations à titre d'essai afin qu'il se familiarise avec la situation expérimentale. Puis, l'expérimentateur règle les filtres des deux lampes au même niveau et l'expérimentation proprement dite commence; le réglage des deux filtres reste inchangé tout au long des essais successifs: c'est la nature aléatoire même des impulsions qui fera que, au cours des différentes périodes d'observation, le nombre d'éclairs produits par les deux néons ne sera pas souvent le même. Ayant recueilli suffisamment d'observations à une fréquence moyenne d'impulsions donnée, l'expérimentateur règle les niveaux des filtres sur une nouvelle position (mais toujours identique pour les deux lampes) et le cycle d'observations recommence.

Cinq niveaux de réglage des filtres ont été retenus pour notre expérimentation, correspondant à des fréquences moyennes de 10, 20, 50, 100 et 200 éclairs par minute (avec des écarts-types compris entre 3 imp./min. environ pour les fréquences faibles et 8 imp./min. environ pour les fréquences élevées).

Voilà pour ce qui est du déroulement général de l'expérience qui a été le même pour tous les sujets interrogés, adultes et enfants.

Quant aux détails, il y a eu quelques petites différences de procédure entre les différents groupes de sujets: nous allons les exposer brièvement.

2. Conditions expérimentales particulières

Ce qui a été constant à travers toutes les passations, et identique pour tous les sujets, c'est, d'une part, la durée de chaque éclair lumineux (100 ms.) et, d'autre part, les fréquences moyennes d'impulsions auxquelles le jugement différentiel a été demandé: 10, 20, 50, 100 et 200 éclairs par minute.

Ce qui, par contre, a varié d'un groupe de sujets à l'autre a été: la durée de la période d'observation, le nombre d'observations par fréquence moyenne, le mode de réponse, le nombre de sujets par groupe et le mode de passation. L'ensemble de ces variations a été réuni dans le Tableau III.

L'analyse du Tableau III peut faire frémir quiconque est — comme nous — défenseur convaincu d'un *planning* expérimental rigoureux. Des explications s'imposent donc.

Disons tout de suite que nous n'aurions pas présenté notre recherche à ce stade de l'expérimentation si nous ne nous trouvions pas en présence de l'étonnante cohérence des résultats déjà recueillis, et cela justement *malgré* les déséquilibres du plan expérimental. Ces déséquilibres — parfois plus apparents que réels — sont le fruit d'une interaction "clinique" entre l'économie du travail et les résultats accumulés au fur et à mesure.

TABLEAU III :

Les différentes conditions expérimentales pour les cinq groupes de sujets

	ENFANTS 8 ans	ENFANTS 10 ans	ENFANTS 12 ans	ADULTES 1	ADULTES 2
NB. DE SUJETS	4	5	2	6	2
DUREE D'OBSERVATION	15 sec.	30 sec.	15 sec.	30 sec.	20 sec.
NB. D'OBS. PAR FREQUENCE MOYENNE ET PAR SUJET	10	40	40	50	100
NB. TOTAL D'OBS. DU GROUPE PAR FREQUENCE MOY.	40	200	80	300	200
NB. ET DIVIS. DES SEANCES	2 s., fréq. mêlées	4 s., fréq. mêlées	2 s., fréq. mêlées	5 s., 1 par fréq.	5 s., fréq. mêlées
MODE DE PASSATION	collect.	collect.	collect.	indiv.	collect.
MODE DE REPOSE	graphique	graphique	graphique	verbal	graphique

Nous avons en effet commencé par expérimenter avec le groupe des Adultes-1. Chacun des 6 sujets était interrogé individuellement : il observait le clignotement des deux lampes-néon pendant 30 secondes, puis donnait, verbalement, sa réponse "droite" ou "gauche", suivie de l'appréciation, toujours verbale, de la certitude de son jugement, en se référant à l'échelle conventionnelle que nous avons décrite plus haut et qu'il pouvait consulter tout au long de l'expérience. Après sa double réponse, une nouvelle période d'observation de 30 sec. lui était soumise et le même cycle recommençait 50 fois de suite, parfois plus parce qu'on éliminait les réponses correspondant aux situations où l'on avait enregistré effectivement le même nombre d'allumages pour les deux lampes. Cela constituait une séance; à quelques jours d'intervalle, le même sujet revenait pour se soumettre à un travail analogue, mais pour une fréquence moyenne d'allumages différente, dont l'ordre de présentation avait été préalablement distribué aléatoirement.

Après avoir ainsi recueilli des données, trois constatations ont pu être faites : les résultats allaient, de façon réconfortante, dans le sens de

nos hypothèses; ils montraient en outre une variabilité inter-individuelle négligeable, mais ils avaient demandé un effort trop grand et surtout trop long de la part des sujets.

Ainsi, voulant passer immédiatement à l'expérimentation sur les enfants de 10 ans, pour mettre en évidence une éventuelle différence génétique, il était indispensable de réduire quelque peu cet effort. Le peu de variation inter-individuelle constatée chez les adultes nous permettait de risquer un nombre de réponses plus faible par sujet, en espérant pouvoir ensuite réunir les observations individuelles en une analyse globale pour tout le groupe. En outre, une passation collective nous a paru utile pour réduire ultérieurement le temps total de l'expérimentation.

Mais une passation collective était incompatible avec le mode de réponse verbal; ainsi nous avons proposé aux sujets d'exprimer leur jugement graphiquement, en plaçant un trait de crayon sur un segment de droite de 14 cm. environ (rhonéographié à l'avance sur des feuilles-réponse) de la façon suivante : s'ils pensaient que c'était la lampe de gauche qui s'était allumée le plus souvent, ils faisaient un trait (ou une croix, etc.) sur la partie gauche du segment imprimé, et d'autant plus proche de l'extrémité gauche du segment qu'ils étaient plus sûrs de leur jugement; ils répondaient de manière analogue sur la partie droite, s'ils avaient eu l'impression que les éclairs s'étaient produits plus souvent à la lampe de droite.

Le segment ne comportait aucune division, même pas celle médiane pour ne pas cristalliser les critères spontanés des sujets; pour le dépouillement, le segment était ensuite divisé en 12 parties égales afin de retrouver les mêmes niveaux de certitude que ceux utilisés avec le groupe des Adultes-1. En plus de rendre possible une passation collective, ce mode de réponse s'est avéré plus rapide et plus facilement assimilable que le mode verbal.

La durée d'observation des éclairs a été maintenue, pour ce groupe d'enfants de 10 ans, à 30 secondes, mais le nombre de séances a été réduit à 4, et dans chaque séance on présentait plusieurs valeurs de fréquences moyennes d'impulsions, toujours distribuées au hasard.

Les résultats ainsi recueillis sur ce groupe d'enfants de 10 ans étaient tout à fait comparables à ceux obtenus avec le groupe des Adultes-1, la seule différence étant une performance générale quelque peu inférieure quantitativement. Nous nous sommes alors demandés si le mode de réponse graphique ne risquait pas de masquer d'éventuelles différences génétiques entre les deux groupes.

Ainsi nous avons décidé de procéder à une expérimentation de contrôle sur un nouveau groupe d'adultes qui allaient utiliser la même méthode graphique de réponse. Mais en plus de cela, nous leur avons proposé une période d'observation réduite à 20 secondes, en pensant qu'un tel gain dans l'économie de l'expérimentation ne pouvait pas avoir

d'effets appréciables sur le jugement différentiel, étant donné que l'interrogatoire clinique des sujets des deux groupes précédents semblait montrer que la méthode d'observation couramment utilisée ne tenait pas compte du nombre total d'éclairs apparus au long de la période d'observation entière, mais consistait plutôt à en effectuer une sorte de "échantillonnage séquentiel". Cette réduction du temps d'observation nous a permis de réduire le nombre de sujets de ce nouveau groupe d'Adultes-2, tout en demandant un plus grand nombre de réponses par sujet et par fréquence moyenne.

Encore une fois, les résultats obtenus montraient une très bonne stabilité et une concordance rassurante avec ceux obtenus précédemment. Ainsi nous avons pu considérer le mode de réponse graphique comme définitivement acquis et la réduction du temps d'observation des éclairs comme possible.

Le groupe suivant a été celui des enfants de 12 ans qui a été examiné selon le même schéma expérimental que celui utilisé pour les Adultes-2, mais avec un nombre de réponses par sujet et par fréquence moyenne plus restreint et avec une réduction ultérieure du temps d'observation à 15 secondes.

Les résultats ainsi obtenus se confondaient avec ceux du groupe d'Adultes-1. Ainsi nous avons pu utiliser la même technique expérimentale pour le groupe des enfants de 8 ans, mais là, nous avons été obligés de demander un nombre de réponses encore inférieur étant donné que nos jeunes sujets se lassaient très vite de la tâche que nous leur imposions.

Voilà pour ce qui est des vicissitudes expérimentales responsables de l'aspect peu orthodoxe de notre plan de recherche. Nous convenons volontiers que nos explications puissent ne pas avoir une force de conviction écrasante, même si nous croyons qu'une saine méthodologie ne doit pas être indifférente à une certaine souplesse dans le maniement des paradigmes expérimentaux traditionnels. Nous laisserons donc aux résultats expérimentaux le soin d'affirmer ou de confirmer notre procédure, en soulignant, une fois encore, qu'il ne s'agit ici que d'une étape initiale d'un plan de recherches plus vaste.

III. LA TECHNIQUE DE DEPOUILLEMENT ET D'ANALYSE STATISTIQUE DES RESULTATS

1. Nature statistique de la tâche proposée

A bien regarder notre situation expérimentale, on s'aperçoit que la tâche que nous demandons à nos sujets pourrait en fait être un problème de décision statistique, analogue à celui qu'un test statistique traditionnel serait appelé à résoudre.

En effet, juger s'il y a eu plus souvent des allumages sur la lampe de droite ou sur celle de gauche, étant donné que les fluctuations autour de la fréquence moyenne d'allumages préfixée ont un caractère aléatoire, revient à estimer la différence entre deux moyennes arithmétiques de deux distributions de forme quasi normale, afin de décider si les deux distributions sont celles de deux échantillons provenant d'une même population ou de deux populations différentes. La Figure 5 représente graphiquement ce problème.

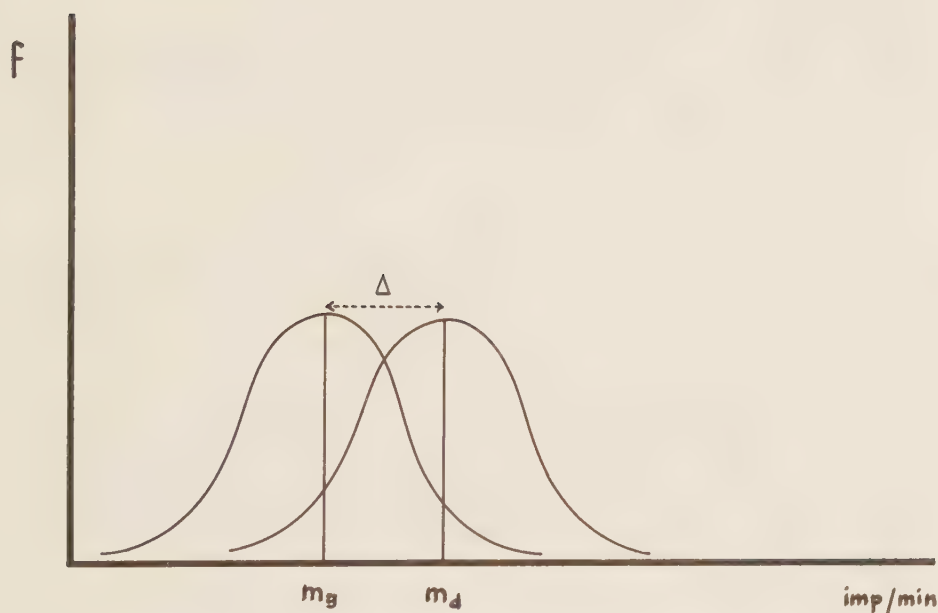


Figure 5 :Le problème de décision statistique impliqué par notre situation expérimentale.

Dans notre situation expérimentale, étant donné que les niveaux des filtres de la lampe de gauche et de celle de droite sont fixés par l'expérimentateur à des valeurs égales, les distributions des fréquences moyennes d'impulsions des deux lampes tendent à assumer une même valeur. Mais cela ne se vérifie que lorsqu'on cumule les observations sur une période assez longue. En réalité, vu la brièveté de la durée d'observation utilisée ici, les fluctuations aléatoires du phénomène feront que la différence entre les deux fréquences moyennes effectivement produites ne sera que très rarement nulle. Il nous paraît donc légitime d'interpréter le comportement de nos sujets selon ce schéma d'inférence statistique.

Or, c'est sur ces mêmes principes de la décision statistique qu'a été construite et développée la Théorie de la Détection de Signaux (Signal-Detection Theory), qui — en plus de fournir un modèle intéressant du comportement perceptif dans des situations de détection — propose une méthodologie expérimentale et des techniques d'analyse statistique très satisfaisantes.

Etant donné donc, d'une part, l'étroite parenté entre notre situation expérimentale et celle postulée par la Théorie de la Détection de Signaux, et, d'autre part, la finesse des méthodes d'analyse proposées par cette même théorie, nous avons décidé d'appliquer ces dernières à nos propres résultats expérimentaux.

A ce point, il est donc nécessaire d'exposer brièvement, et dans les grandes lignes, les concepts fondamentaux de cette théorie, en renvoyant, pour les détails, le lecteur intéressé aux deux ouvrages fondamentaux de SWETS (1964) et de GREEN & SWETS (1966).

2. La théorie de la détection de signaux

La Théorie de la Détection de Signaux (dorénavant : TDS) a été développée essentiellement au cours des années 1952-1954 par PETERSON, BIRDSALL & FOX (1954) à l'Université de Michigan, et par VAN METER & MIDDLETON (1954) au Massachusetts Institute of Technology. Pendant la même période, mais travaillant de façon indépendante de la TDS, SMITH & WILSON (1953) au Massachusetts Institute of Technology et MUNSON & KARLIN (1954) aux Bell Telephone Laboratories ont pu démontrer par une série d'expériences en psycho-acoustique l'applicabilité de la TDS à l'observateur humain. TANNER & SWETS (1954 a et b), de leur côté, ont fait de même en ce qui concerne la perception visuelle.

Depuis, l'essor de la TDS a été très rapide : un nombre toujours plus grand de chercheurs s'y est intéressé, et il est bientôt devenu difficile de s'orienter parmi les nombreuses publications (d'autant plus que, comme le font remarquer EDWARDS & TVERSKY (1967, p. 396)

"...researchers in this field are especially likely to produce preprints, working papers, government reports and similar unfindable documents...")

Pour ce qui est des travaux pouvant intéresser plus particulièrement les psychologues, SWETS (1961, p. 62-63) propose une "piste" d'orientation en fonction des intérêts fondamentaux des personnalités qui ont le plus contribué au développement de la TDS : les efforts de TANNER ont été principalement dirigés d'une part vers un examen critique du rôle des différents modèles dans la pratique expérimentale et d'autre part vers l'étude des applications de la notion de "ideal observer"; GREEN a essentiellement travaillé dans le domaine de l'audition, et plus particulièrement dans celui de l'analyse de fréquence; SWETS s'est surtout inté-

ressé aux problèmes inhérents aux processus de décision, tout en essayant de nouvelles applications de la TDS à des situations psychophysiques complexes; EGAN, POLLACK & CLARKE ont étudié spécialement les problèmes de la communication verbale et ont apporté des contributions méthodologiques importantes. Pour ce qui est enfin des applications plus récentes, et dans des domaines variés, on pourra se référer au manuel de GREEN & SWETS (1966) et en particulier au chapitre 12.

Deux concepts fondamentaux sont à la base de toute la TDS : d'une part, la "réponse sensorielle" (cf. SWETS, 1961, p. 50-51) résultant d'une stimulation donnée n'est pas constante — pour un même organisme et une même stimulation — mais elle est *variable*; d'autre part, cette "réponse sensorielle" constitue une variable *unidimensionnelle*. A part ces deux définitions, la "réponse sensorielle"...

"...may be anything : the exact, or even the general, nature of the actual sensory response is of no concern to the application of the theory." (SWETS, 1961, p. 51).

TANNER (1961) visualise le problème à peu près de la façon indiquée à la Figure 6.

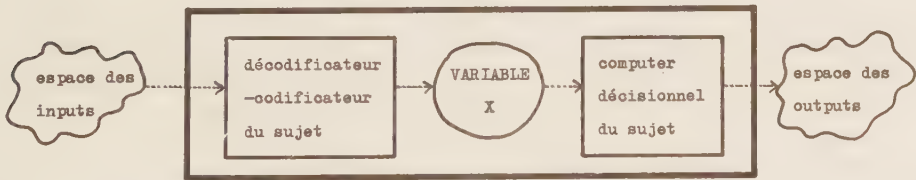


Figure 6 : Le schéma de TANNER.

C'est donc en fonction des paramètres de la variable "interne" X — elle-même fonction des caractéristiques du stimulus — que le sujet décide de la réponse à fournir. Il s'agit dès lors d'étudier les différentes modalités de ce processus de décision.

Dans le "fundamental detection problem" étudié par la TDS, le sujet doit détecter la présence ou l'absence d'un certain signal S (auditif, visuel, etc.) que l'expérimentateur peut ou non lui présenter superposé à un bruit de fond BF. Dans cette situation, et dans le cas idéal où le sujet fonctionne comme un détecteur parfait exempt de toute erreur, la variable interne X ne prendrait que deux valeurs : X_0 lorsque la stimulation ne contient que BF uniquement, et X_1 lorsqu'elle contient BF + S . Le processus décisionnel du sujet serait alors assez simple : chaque fois

que le sujet "ressentira" X_0 , il donnera la réponse "BF", et chaque fois qu'il "ressentira" X_1 , il donnera la réponse "S". La distribution de la variable X aura, en ce cas, l'allure indiquée par la Figure 7.



Figure 7 : Distribution de la variable "interne" X postulée par la TDS, dans le cas où il n'y a pas de fluctuations aléatoires.

Mais, en pratique, le sujet n'est pas un détecteur exempt d'erreur : il présente une certaine fluctuation aléatoire qui affecte les valeurs de la variable X — en augmentant sa variance — de sorte que la distribution de celle-ci va alors assumer la forme indiquée à la Figure 8 :

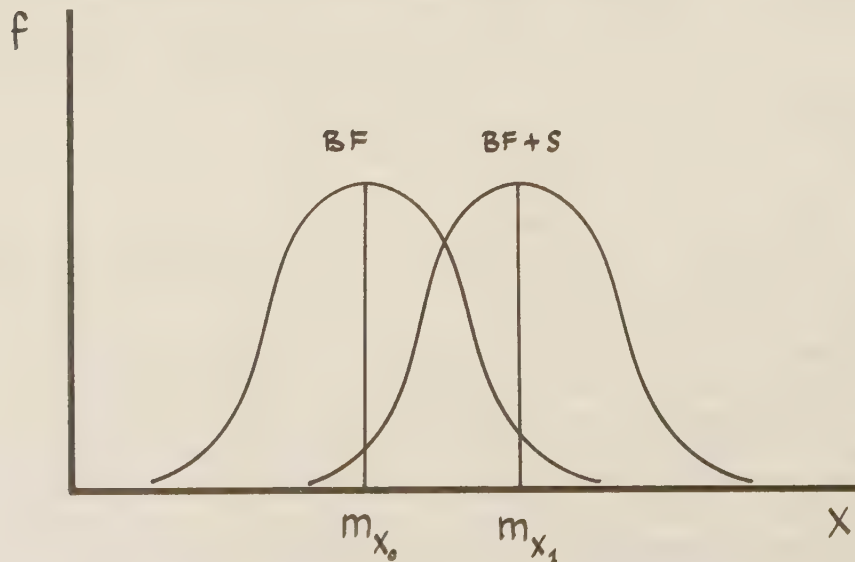


Figure 8 : Distribution de X en présence de fluctuations aléatoires.

Par conséquent, lorsque le sujet "ressent" une valeur X_i de la variable X , avant de fournir sa réponse, il doit d'abord décider si cette valeur X_i appartient à la distribution de X pour BF, et dont la moyenne est X_0 , ou si elle appartient à la distribution de X pour BF + S, dont la moyenne est X_1 . Pour prendre une telle décision, il est obligé d'assumer une certaine valeur X_c comme critère, de telle sorte que lorsque $X_i > X_c$ il pourra donner la réponse "S" et que lorsque $X_i < X_c$ il pourra donner la réponse "BF". Graphiquement, ce critère peut être représenté de façon analogue à celle de la Figure 9.

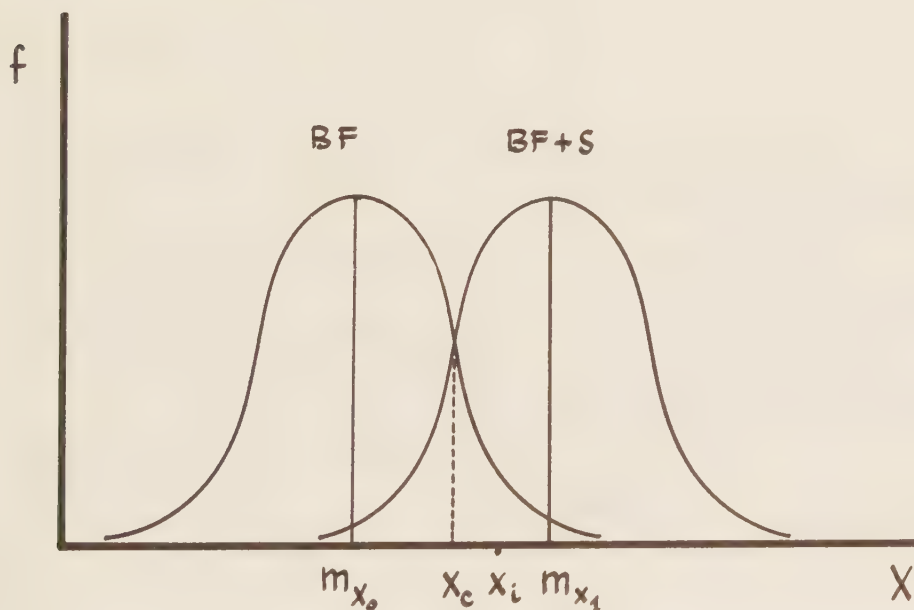


Figure 9 : Situation du critère décisionnel dans la distribution de X .

Il est évident qu'une décision basée sur un tel critère peut porter aussi à des conclusions erronées : en effet, comme il résulte clairement de la Figure 9, une valeur X_i , tout en étant supérieure à X_c , peut appartenir soit à la distribution BF + S, soit — mais avec une probabilité moindre — à la distribution BF.

Au total, le sujet peut donc fournir quatre types de réponses, deux justes et deux fausses :

- JUSTE 1 : répondre "S" lorsque l'expérimentateur a en effet présenté S + BF : nous écrirons (S/S);
- JUSTE 2 : répondre "non S" (ou "BF") lorsque l'expérimentateur n'a pas présenté S, mais BF seul : nous écrirons ($\bar{S}/\bar{S}$);

- FAUSSE 1 :répondre “S” lorsque l’expérimentateur n’a pas présenté S : nous écrirons $(S/\bar{S})$;
- FAUSSE 2 :répondre “non S” lorsque l’expérimentateur a, par contre, présenté S + BF : nous écrirons $(\bar{S}/S)$.

Les proportions de ces quatre types de réponses sont complémentaires deux à deux :

$$P(\bar{S}/S) = 1 - P(S/S) \quad (32)$$

et

$$P(\bar{S}/\bar{S}) = 1 - P(S/\bar{S}) \quad (33)$$

Il suffit donc de connaître les valeurs de $P(S/S)$ – les “hits” – et de $P(S/\bar{S})$ – les “false alarms” – pour que les autres proportions soient déterminées.

De plus, ces proportions sont évidemment fonction de la valeur X_C de la variable X choisie comme critère. Lorsque les deux distributions de X pour BF et pour BF + S sont normales et de même variance, la fonction qui relie $P(S/S)$ et $P(S/\bar{S})$ aux différentes valeurs de X_C aura la forme indiquée à la Figure 10, et la dérivée en un point i de cette courbe sera égale à la valeur X_{Ci} prise comme critère en ce point i .

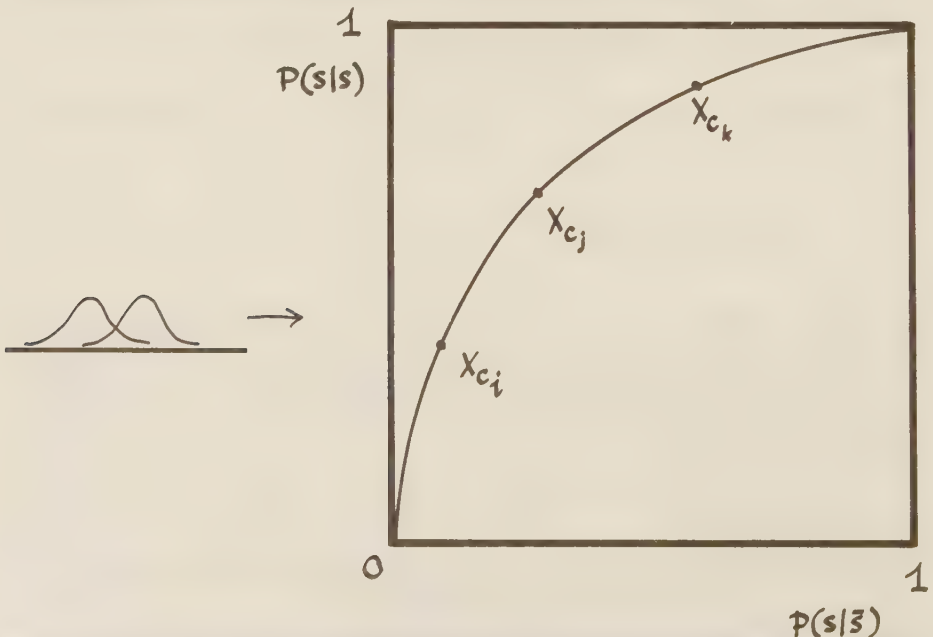


Figure 10 : Exemple d'une fonction d'efficacité du récepteur (Receiver Operating Characteristic Curve : R.O.C.).

Par contre, si les deux distributions ont des variances différentes, la courbe devient, selon les cas, une sigmoïde négative ou positive (Figures 11 et 12).

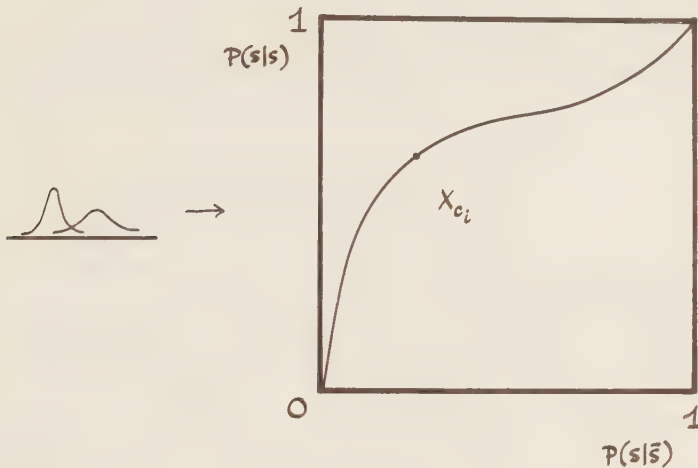


Figure 11 : "R.O.C. Curve" lorsque la variance de $BF + S$ est plus grande que celle de BF .

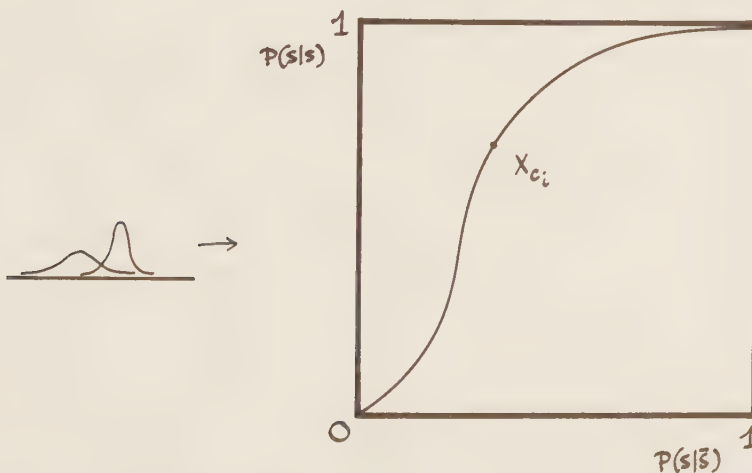
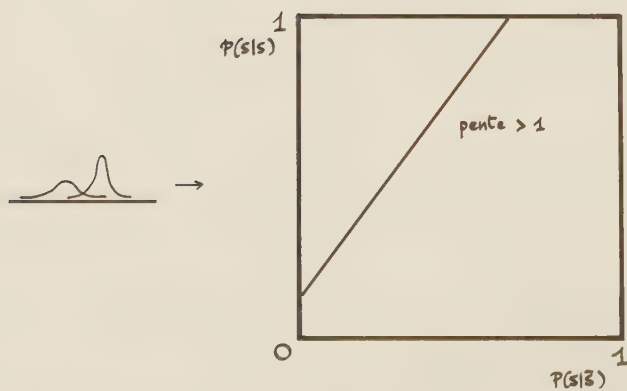
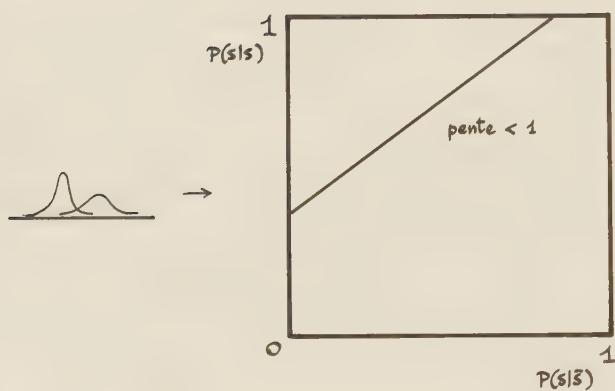
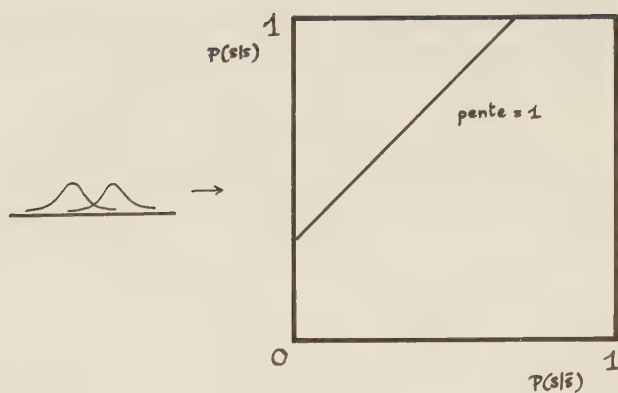


Figure 12 : "R.O.C. Curve" lorsque la variance de BF est plus grande que celle de $BF + S$.

Ces courbes, une fois tracées sur un papier à coordonnées normalisées (papier de probabilité double) prennent la forme de droites, dont la pente dépendra de l'égalité ou de l'inégalité des deux variances, comme il est montré aux Figures 13, 14 et 15.



Figures 13, 14, 15 :

"R.O.C. Curves" exprimées sur papier à axes normalisés, pour variances égales ou inégales.

Nous avons donc vu que les proportions $P(S/S)$ et $P(S/\bar{S})$, et les valeurs-critères X_C sont reliées fonctionnellement. Mais cette relation fonctionnelle dépend à son tour de la distance séparant les deux distributions de X pour BF et pour $BF + S$, distance que nous appellerons dorénavant Δ . En effet, en observant les Figures 16, 17 et 18, on peut aisément voir qu'une même valeur X_C peut donner des proportions $P(S/S)$ et $P(S/\bar{S})$ bien différentes, selon que la distance Δ entre les deux distributions est nulle ou plus ou moins grande.

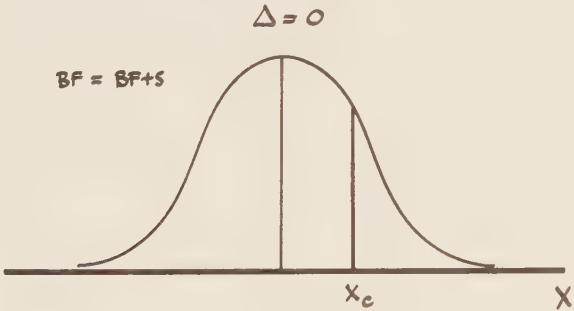


Figure 16 : $P(S/S) = P(S/\bar{S})$

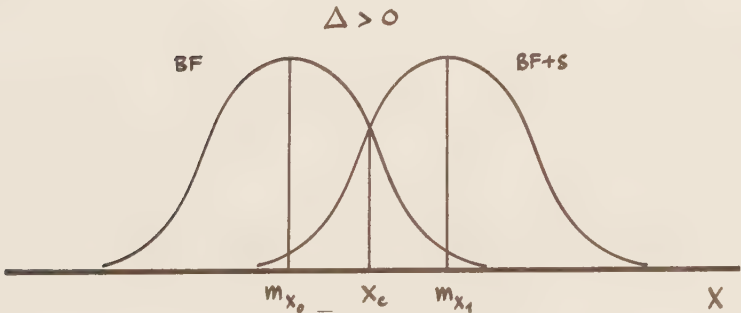


Figure 17 : $P(S/S) > P(S/\bar{S})$

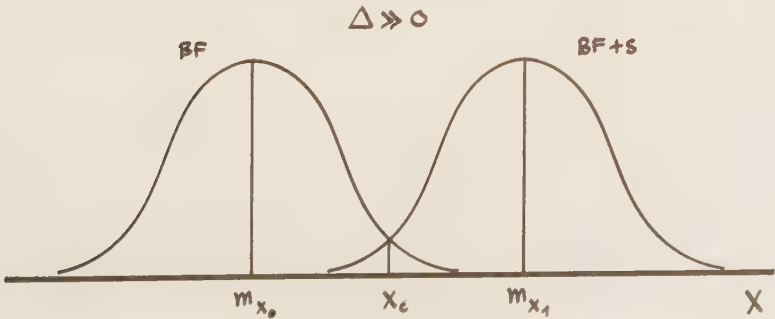


Figure 18 : $P(S/S) \gg P(S/\bar{S})$.

Figures 16, 17, 18 : Interdépendance de $P(S/S)$, X_C et Δ

L'interdépendance entre $P(S/S)$, $P(S/\bar{S})$, X_c et Δ peut être représentée succinctement grâce à un graphique dessiné sur un papier de probabilité double où l'on suppose l'égalité des variances des deux distributions de X pour BF et de X pour $BF + S$ et où Δ est mesurée en unités-sigma (cf. Figure 19).

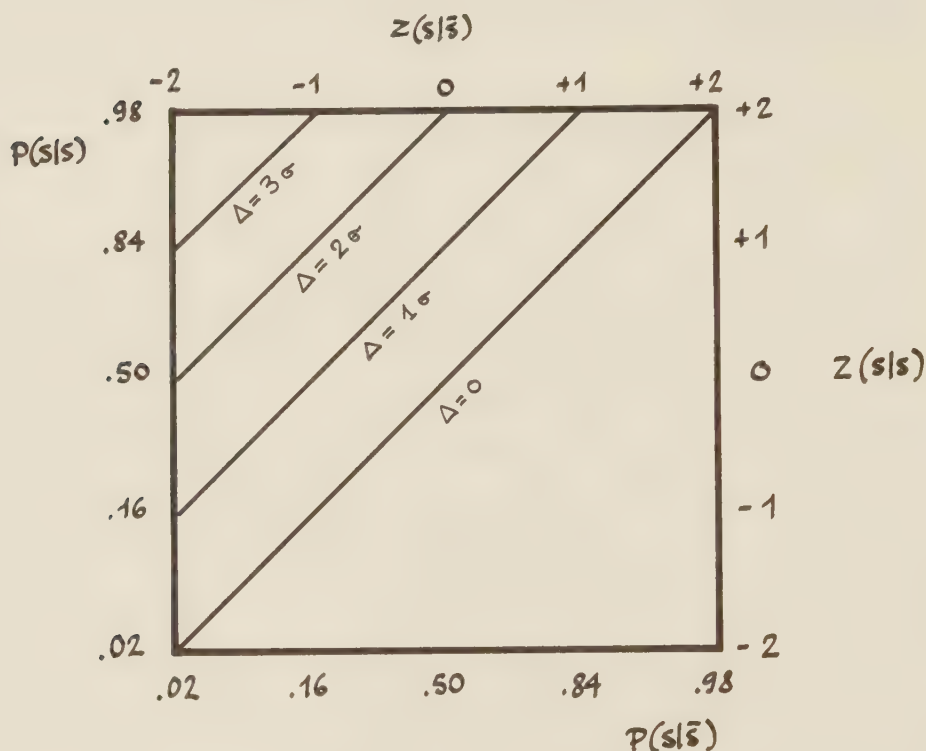


Figure 19: Déplacement de la "R.O.C. Curve" en fonction de Δ , dans un graphique à axes normalisés.

Nous pouvons maintenant résumer cette description sommaire du modèle proposé par la TDS par les points suivants :

- on postule une variable hypothétique X , unique et unidimensionnelle, qui représente l'élaboration des inputs sensoriels de la part du sujet percevant et qui est utilisée par ce dernier comme base de son processus décisionnel;
- cette variable X dépend des paramètres physiques principaux du stimulus;

- à cause des erreurs aléatoires intervenant dans le système, à une valeur donnée de l'ensemble des paramètres physiques du stimulus ne correspond pas une et une seule valeur de X , mais une distribution de valeurs de cette variable, distribution qu'on assume normale et centrée sur la valeur X_i la plus fréquemment reliée à la valeur des paramètres du stimulus;
- la présence de fluctuations aléatoires oblige le sujet à définir une valeur X_C comme étant le critère qui permet de dichotomiser l'ensemble des valeurs de la variable X en deux classes disjointes correspondant aux deux types de décisions qui lui sont demandées;
- la définition de ce critère X_C détermine automatiquement les proportions des quatre types de réponses que le sujet peut fournir : $P(\bar{S}/S) = 1 - P(S/S)$ et $P(\bar{S}/\bar{S}) = 1 - P(S/\bar{S})$, de sorte qu'à des critères différents vont donc correspondre des proportions de réponses différentes.

Pour conclure cette brève présentation, il nous paraît utile de rapporter ici les remarques de LUCE (in LUCE, BUSH & GALANTER, 1963, p. 109) :

“The theory does not say where these distributions come from, although their usually assumed normality easily suggests a pseudoneurology in which many small independent neuronal errors accumulate to form the resultant error; nor does it tell how the subject comes to know the distributions, but a learning process during pretraining seems a likely candidate; nor does it suggest how the subject carries out the various needed transformations and calculations. Unexplained, “internal” numerical representations such as these are characteristic of almost all psychophysical theories and they simply indicate, I suspect, the relatively primitive state of the theory. Nonetheless, we are no more obliged to account for them in, say, physiological terms than were the authors of the first macroscopic physical theories required to explain planetary motions in terms of elementary particle properties.”

3. Application des méthodes de la TDS à notre situation¹

Si la TDS postule donc que le sujet traduit tout problème de détection perceptive en un problème “interne” de décision statistique, dans notre situation expérimentale, nous confrontons nos sujets de façon directe à une tâche de décision statistique.

En effet, on peut imaginer que le processus décisionnel — conscient ou non, peu importe — mis en oeuvre par nos sujets se déroule à peu près de la manière suivante : après quelques observations, les sujets se rendent compte que les allumages des deux lampes ne sont pas réguliers, mais se

¹ Nous rappelons au lecteur intéressé par les détails de l'analyse statistique que l'Appendice A contient un exemple détaillé de la procédure d'analyse.

succèdent de façon imprévisible et variable (d'ailleurs, l'expérimentateur les a avertis, en soulignant que "les éclairs peuvent apparaître n'importe quand et plus ou moins fréquemment"); ils peuvent ainsi facilement imaginer qu'une même lampe ne donnera pas toujours le même nombre d'éclairs en un temps d'observation donné, bien qu'ils puissent constater que l'expérimentateur ne modifie en rien le réglage de l'appareil, réglage qui d'ailleurs leur est inconnu et qu'il s'agit justement d'inférer.

Ayant à un certain moment constaté (ou *croyant* avoir constaté) une certaine différence Δ_i entre la fréquence des éclairs de la lampe de gauche et celle des éclairs de la lampe de droite, les sujets doivent décider si cette valeur Δ_i est due à la seule irrégularité du phénomène, les fréquences moyennes des éclairs des deux lampes étant en réalité identiques, ou si elle est due au fait que l'une des fréquences moyennes est systématiquement supérieure ou inférieure à l'autre. En d'autres termes, ils doivent décider si Δ_i appartient à la distribution des différences Δ que l'on obtient lorsque la fréquence moyenne g de la lampe de gauche est égale à la fréquence moyenne d de la lampe de droite, ou à la distribution de Δ pour $g > d$, ou encore à la distribution de Δ pour $g < d$, comme on peut voir graphiquement à la Figure 20.

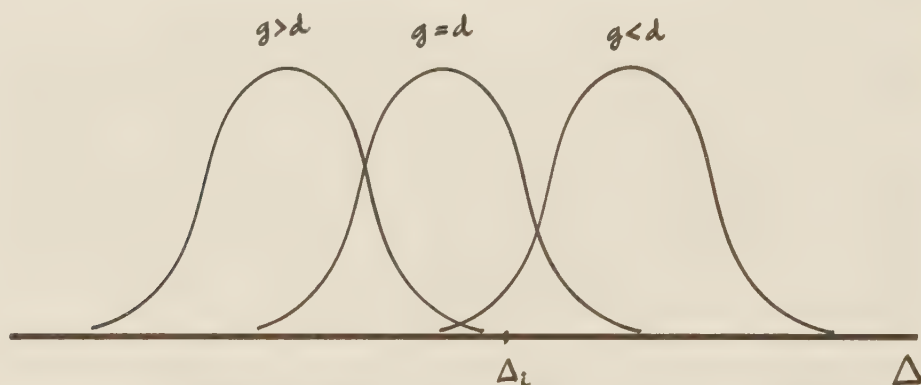


Figure 20: Le problème de décision statistique inhérent à notre situation expérimentale.

Mais les sujets n'ont pas la possibilité d'envisager l'alternative où Δ_i appartient à la distribution de Δ pour $g = d$, parce que l'expérimentateur leur a défendu de donner une réponse d'égalité (et d'ailleurs, toute réponse correspond à une situation où objectivement $g = d$ est éliminée de l'analyse des résultats). Ainsi, nos sujets se trouvent dans l'obligation de se fixer deux valeurs-critères de Δ : un $\Delta_{c+} > 0$ et un $\Delta_{c-} < 0$, critères qui peuvent bien sûr varier en cours d'expérience. Si le Δ_i perçu à un moment donné est plus grand que Δ_{c+} , ils accepteront l'hypothèse que Δ_i fait partie de la distribution de Δ pour $d > g$; si par contre Δ_i leur

semble plus petit que Δ_{c+} , ils refuseront cette hypothèse et admettront que Δ_i n'appartient pas à la distribution de Δ pour $d > g$, en répondant — faute d'autres alternatives — qu'il appartient à la distribution $g > d$. Si $\Delta_i < \Delta_{c-}$, ils accepteront que Δ_i puisse faire partie de la distribution de Δ pour $g > d$; si $\Delta_i > \Delta_{c-}$, ils écarteront cette éventualité et répondront que Δ_i appartient à la distribution de Δ pour $d > g$. On aura donc deux situations distinctes, illustrées par les Figures 21 et 22.

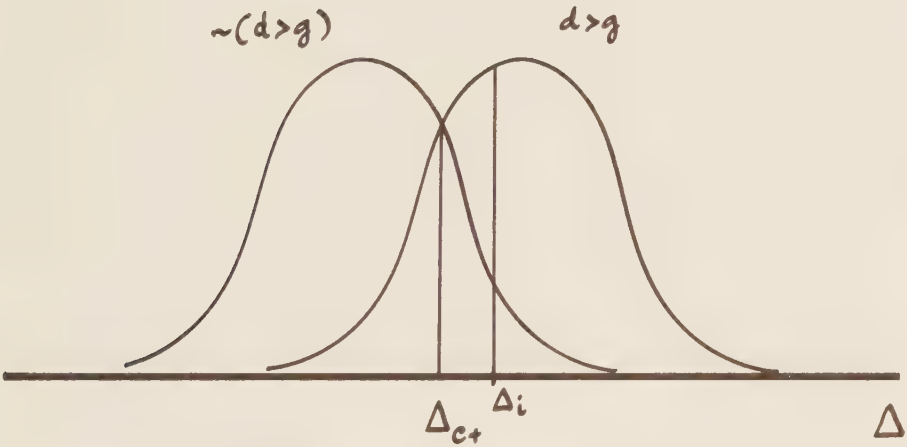


Figure 21 : Le problème de décision entre les alternatives $\Delta_i \in (d > g)$ et $\Delta_i \notin (d > g)$.

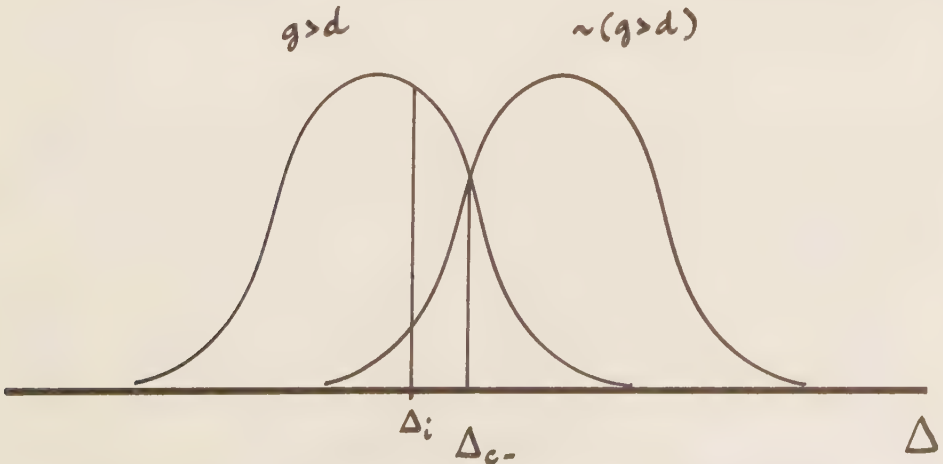


Figure 22 : Le problème de décision entre les alternatives $\Delta_i \in (g > d)$ et $\Delta_i \notin (g > d)$.

La situation décrite par la Figure 21 est celle où l'on teste l'hypothèse (alternative) selon laquelle Δ_i appartient à la distribution $(d > g)$, contre l'hypothèse (nulle) selon laquelle Δ_i appartient à la distribution $\sim (d > g)$. Il est clair qu'admettre que Δ_i appartient à la distribution $\sim (d > g)$ n'est pas équivalent à admettre que Δ_i appartient à la distribution $g > d$, parce que Δ_i pourrait également appartenir à la distribution $g = d$. Mais nos sujets n'ont que deux alternatives : ou bien ils répondent "Droite" (c'est-à-dire : $\Delta_i \in (d > g)$) ou ils répondent "Gauche" (c'est-à-dire : $\Delta_i \notin (d > g)$, mais pas nécessairement $\Delta_i \in (g > d)$).

Dans la situation décrite par la Figure 22, par contre, on teste l'hypothèse (alternative) selon laquelle Δ_i appartient à la distribution $(g > d)$, contre l'hypothèse (nulle) selon laquelle Δ_i appartient à la distribution $\sim (g > d)$. Et ici encore, il est clair que $\sim (g > d)$ n'est pas équivalent à $d > g$, sauf évidemment dans les réponses du sujet.

Ainsi donc, nos sujets vont nous fournir quatre types de réponses :

- ils peuvent nous dire qu'il y a eu des allumages plus fréquents dans la lampe de droite que dans celle de gauche (i.e. $\Delta_i \in (d > g)$), ce qui a été en fait le cas : nous écrirons : (D/d) ;
- ils peuvent également affirmer que les éclairs ont été plus fréquents à droite alors qu'en fait ils l'étaient à gauche : nous écrirons : (D/g) ;
- ils peuvent répondre qu'ils ont vu plus souvent des éclairs à gauche (i.e. $\Delta_i \in (g > d)$), ce qui correspond à la réalité : nous écrirons : (G/g) ;
- enfin, ils peuvent dire que les allumages ont été plus fréquents à gauche alors que c'est la lampe de droite qui s'est allumée le plus souvent : nous écrirons (G/d) .

Les proportions de ces quatre types de réponses ne sont pas complémentaires deux à deux, comme le modèle de la TDS pourrait le faire penser : par la présence des deux critères Δ_{c+} et Δ_{c-} , qui ne sont pas forcément identiques pour les raisons que nous venons d'exposer, il est très probable que l'on ait en effet :

$$P(G/d) \neq 1 - P(D/d) \quad (34)$$

et

$$P(G/g) \neq 1 - P(D/g) \quad (35)$$

contrairement à ce que stipule la TDS (cf. équations 32 et 33).

Bien que le problème de décision statistique que nous proposons à nos sujets soit analogue à celui supposé par la TDS, nous devons cependant modifier légèrement la procédure d'analyse proposée par cette théorie et traiter séparément les réponses (D/d) et (D/g) des réponses (G/g) et (G/d).

On se souviendra que nous ne demandons pas seulement une réponse différentielle "Droite" ou "Gauche" à nos sujets, selon qu'ils pensent que les éclairs sont en moyenne plus fréquents à la lampe de droite ou à celle de gauche : nous leur demandons également d'apprécier le degré de certitude de leur réponse, soit verbalement en se référant à une échelle conventionnelle à six valeurs, soit graphiquement en plaçant un trait de crayon sur un segment de droite que nous allons diviser *a posteriori* en 12 parties égales pour retrouver les échelons de l'échelle conventionnelle.

Cette seconde réponse, obtenue selon la procédure du "rating method" décrite — et déjà éprouvée — par la TDS, nous est indispensable pour contrôler les valeurs-critères de Δ que les sujets peuvent se fixer en cours d'expérience, et en fonction desquelles ils vont décider de leurs réponses.

En effet, pour ce qui est des réponses "Droite" par exemple, les sujets peuvent fournir des proportions de réponses justes (D/d) et des proportions de réponses fausses (D/g) bien différentes selon qu'ils se réfèrent à des valeurs-critères Δ_{c+i} plus ou moins sévères : les Figures 23 et 24 illustrent ces variations.

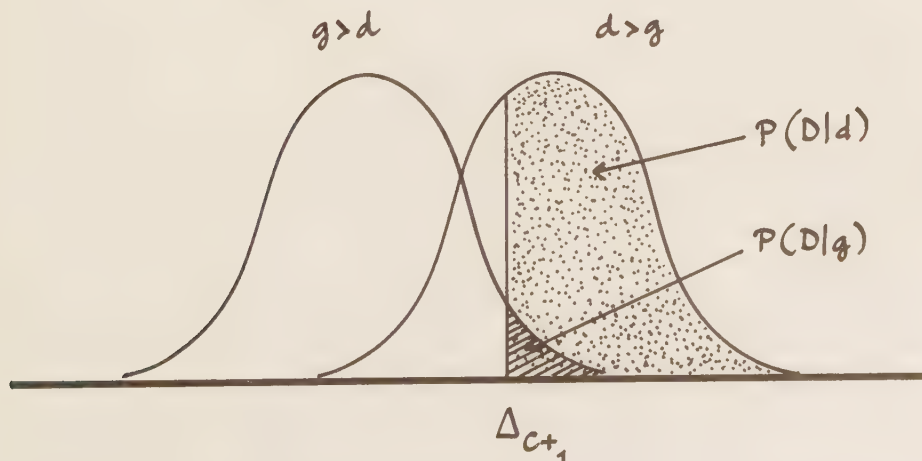


Figure 23



Figures 23 et 24 :

Variations des $P(D/d)$ et $P(D/g)$ en fonction de Δ_{c+} . La Figure 24 représente un critère plus sévère que celui de la Figure 23.

Les mêmes considérations peuvent être faites pour ce qui est des réponses “Gauche”.

Ainsi, les réponses “Droite” fournies par nos sujets peuvent être regroupées en six couples de proportions $P(D/d)$ et $P(D/g)$, selon les six niveaux de certitude indiqués qui — rappelons-le — sont notés ainsi : 5 = absolument sûr; 4 = presque sûr; 3 = assez sûr; 2 = peu sûr; 1 = très peu sûr; 0 = pas sûr du tout. Le Tableau IV résume ce classement.

TABLEAU IV :

Classement des réponses “Droite” en fonction des niveaux de certitude et de la réalité.

niv.	5	4	3	2	1	0	
$d > g$	$P(D/d)_5$	$P(D/d)_4$	$P(D/d)_3$	$P(D/d)_2$	$P(D/d)_1$	$P(D/d)_0$	(rép. j.)
$g > d$	$P(D/g)_5$	$P(D/g)_4$	$P(D/g)_3$	$P(D/g)_2$	$P(D/g)_1$	$P(D/g)_0$	(rép. f.)

Les réponses “Gauche” peuvent être analysées de façon analogue (cf. Tableau V).

TABLEAU V :

Classement des réponses "Gauche" en fonction des niveaux de certitude et de la réalité.

niv.	5	4	3	2	1	0	
$g > d$	P (G/g) ₅	P (G/g) ₄	P (G/g) ₃	P (G/g) ₂	P (G/g) ₁	P (G/g) ₀	(rép. j.)
$d > g$	P (G/d) ₅	P (G/d) ₄	P (G/d) ₃	P (G/d) ₂	P (G/d) ₁	P (G/d) ₀	(rép. f.)

Dans le cas où les sujets expriment leur réponse graphiquement, le classement des réponses se fait de la manière indiquée au Tableau VI.

TABLEAU VI :

Classement des réponses obtenues avec la méthode graphique en fonction des niveaux de certitude et de la réalité.

	$d > g$	$g > d$
5	P (G/d) ₅	P (G/g) ₅
4	P (G/d) ₄	P (G/g) ₄
3	P (G/d) ₃	P (G/g) ₃
2	P (G/d) ₂	P (G/g) ₂
1	P (G/d) ₁	P (G/g) ₁
0	P (G/d) ₀	P (G/g) ₀
0	P (D/d) ₀	P (D/g) ₀
1	P (D/d) ₁	P (D/g) ₁
2	P (D/d) ₂	P (D/g) ₂
3	P (D/d) ₃	P (D/g) ₃
4	P (D/d) ₄	P (D/g) ₄
5	P (D/d) ₅	P (D/g) ₅

Sur un graphique de probabilités double à coordonnées normalisées, le point correspondant aux proportions $P(D/d)_5$ et $P(D/g)_5$ représentera le critère le plus sévère auquel le sujet s'est référé pour donner ses réponses "Droite"; et le point correspondant aux proportions $P(G/g)_5$ et $P(G/d)_5$ représentera le critère le plus sévère pour les réponses "Gauche". Le point correspondant aux coordonnées $[P(D/d)_5 + P(D/d)_4]$ et $[P(D/g)_5 + P(D/g)_4]$ indiquera le critère suivant — immédiatement moins sévère — pour les réponses "Droite", et le point correspondant aux coordonnées $[P(G/g)_5 + P(G/g)_4]$ et $[P(G/d)_5 + P(G/d)_4]$ le critère analogue pour les réponses "Gauche".

Ainsi, en cumulant au fur et à mesure les proportions des quatre types de réponses possibles, du critère le plus sévère vers le critère le moins sévère, on peut représenter sur le graphique l'ensemble des critères que le sujet a adopté pour fournir ses réponses "Droite" et "Gauche", les moins sévères de ceux-là correspondant respectivement aux coordonnées

$$\left[\begin{array}{c} 5 \\ \Sigma \\ i=0 \end{array} P(D/d)_i \right] ; \left[\begin{array}{c} 5 \\ \Sigma \\ i=0 \end{array} P(D/g)_i \right] \text{ et } \left[\begin{array}{c} 5 \\ \Sigma \\ i=0 \end{array} P(G/g)_i \right] ; \left[\begin{array}{c} 5 \\ \Sigma \\ i=0 \end{array} P(G/d)_i \right].$$

Etant donné que les axes de notre graphique représentent des proportions normalisées — c'est-à-dire des variables "z" normales réduites — les points correspondant aux différents critères devraient se situer le long d'une droite, ou plutôt le long de deux droites, l'une relative aux réponses "Droite" et l'autre relative aux réponses "Gauche", ces deux droites n'étant pas forcément superposées puisque les critères utilisés pour les deux catégories de réponses ne sont pas forcément équivalents. La Figure 25 illustre le raisonnement que nous venons de faire.

Nous avons dit que les points représentant les critères *devraient* se situer le long d'une droite : en réalité, il est bien clair que cela ne se vérifie pas *exactement*, étant donné l'instabilité propre du "détecteur humain". Les droites correspondant aux deux catégories de réponses devront donc être estimées à partir des points obtenus, par exemple, avec la méthode des moindres carrés. Pour notre analyse, nous avons utilisé une méthode d'estimation graphique moins laborieuse, inspirée d'une procédure analogue proposée par QUENOUILLE (1959, méthode No 33) et consistant à partager l'ensemble des points en deux groupes au moyen d'une droite verticale, puis à construire les points-médians des deux groupes ainsi déterminés et enfin à relier ces points-médians, en déplaçant éventuellement la droite obtenue dans la direction du point médian général si celui-ci se trouvait trop éloigné. Les deux droites de la Figure 25 ont été estimées suivant cette procédure.

Une fois déterminées les deux droites relatives aux critères "Droite" et aux critères "Gauche", nous pouvons mesurer la distance entre chacune d'elles et la diagonale positive de notre graphique, qui représente le

lieu des critères correspondant à des proportions égales $P(D/d) = P(D/g)$ ou $P(G/g) = P(G/d)$. Cette distance, mesurée le long de la diagonale négative, est ensuite projetée sur l'axe des abscisses selon une projection parallèle à la diagonale positive, comme il est indiqué à la Figure 26.

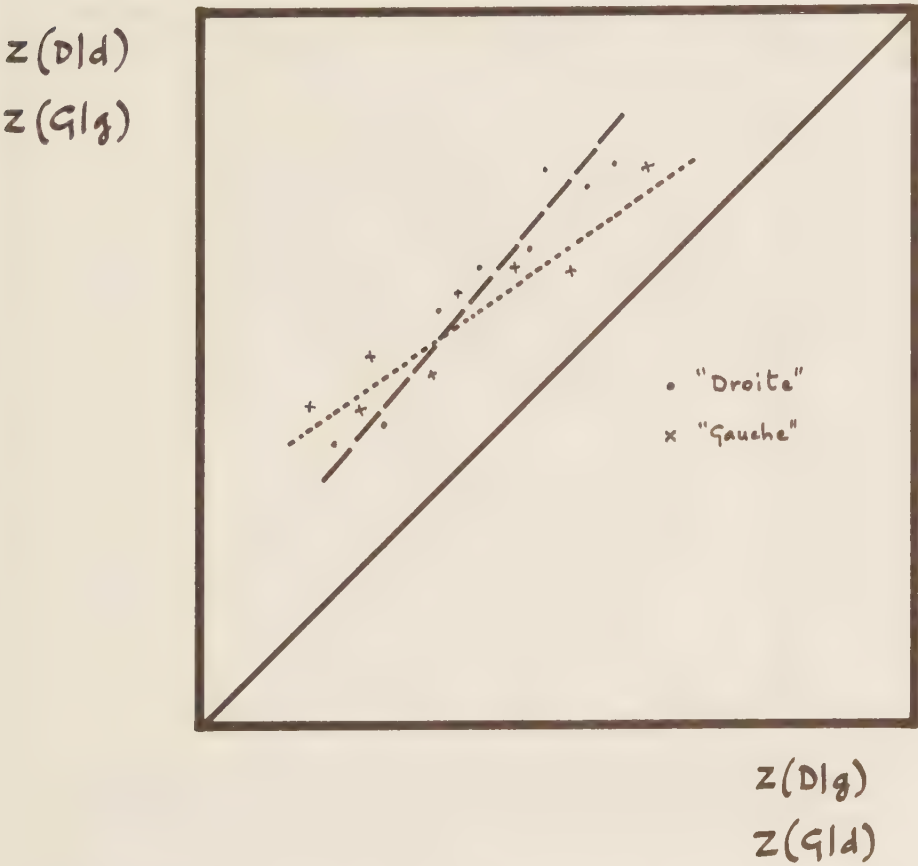


Figure 25: Exemple de construction des "R.O.C. Curves" pour les réponses "Droite" et "Gauche" à partir des points-critères expérimentaux dans un graphique à axes normalisés.

Une telle projection des distances observées sur l'axe des abscisses permet d'exprimer celles-là en unités-sigma, étant donné que nos deux axes représentent des variables "z" normales réduites, elles-mêmes exprimées donc en unités-sigma. Ainsi, pour ce qui est, par exemple, des données représentées dans la Figure 26, nous pouvons dire que la distance "Droite" est égale à environ 3σ , alors que la distance "Gauche"

est égale à 2σ . Cela nous permet d'inférer quelle est la distance *subjective*, pour nos sujets, entre les distributions de Δ pour $d \succ g$ et pour $g \succ d$, et d'une façon différentielle selon que l'on se réfère aux deux catégories de réponses admises.

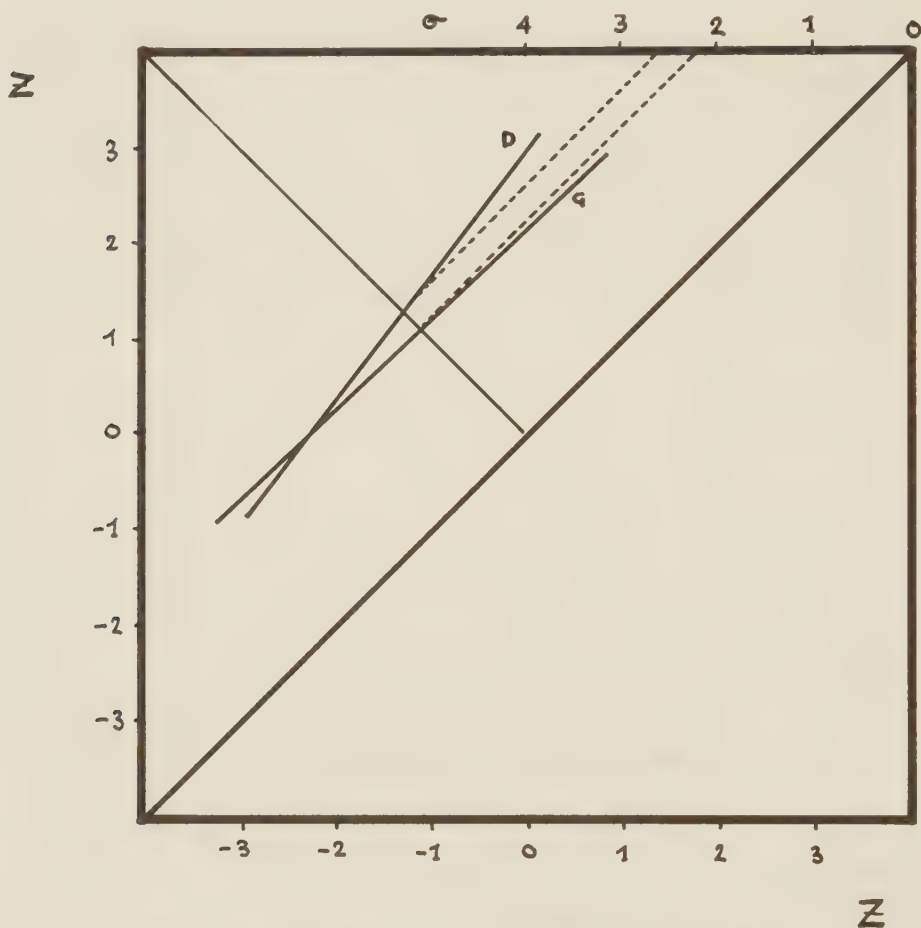
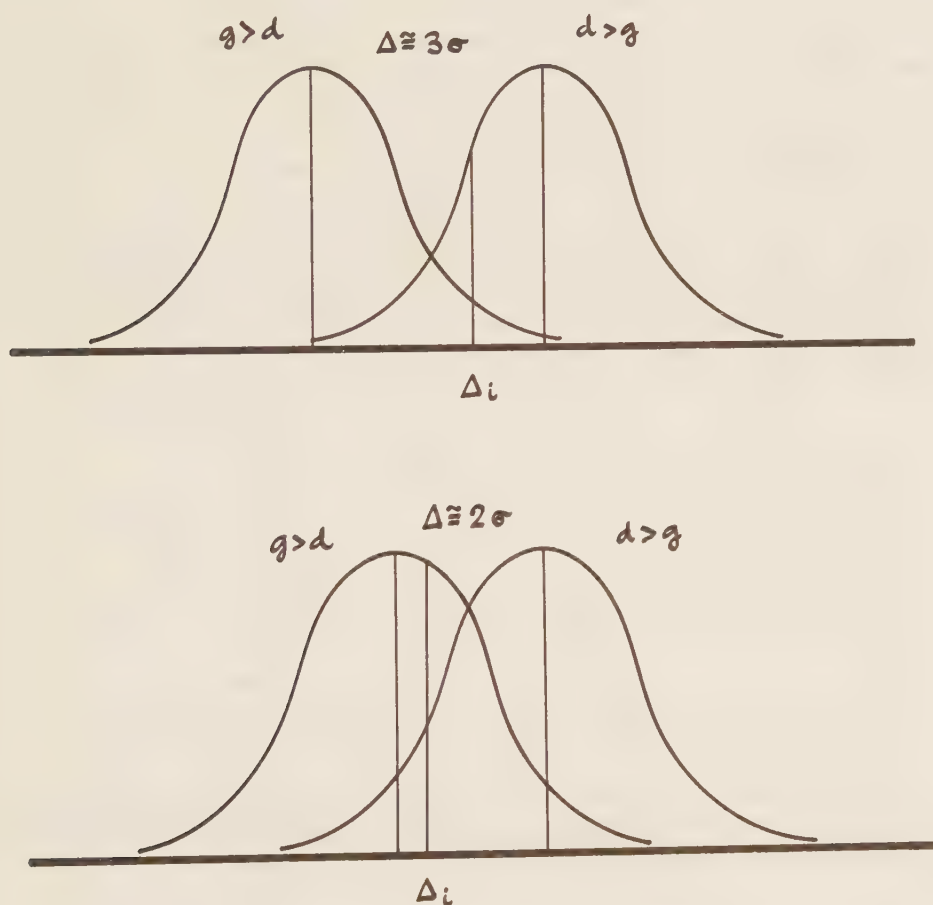


Figure 26 : Calcul de la distance entre les "R.O.C. Curves" et la diagonale positive, et projection oblique de cette distance sur l'axe des abscisses.

Ainsi, d'après les résultats (fictifs) représentés à la Figure 26, on peut affirmer, d'une part, que les deux fréquences moyennes d'allumages des deux lampes ont été perçues *subjectivement* comme différentes et, d'autre part, que cette différence entre les deux fréquences moyennes d'allumages a été perçue *subjectivement* comme plus grande lorsque la décision portait sur les alternatives $\Delta_i \in (d \succ g)$ et $\Delta_i \notin (d \succ g)$ que

lorsque la décision portait sur les alternatives $\Delta_i \in (g > d)$ et $\Delta_i \notin (g > d)$. Nous avons essayé de représenter graphiquement ces conclusions aux Figures 27 et 28.



Figures 27 et 28 :

Distances subjectives entre les distributions $(d > g)$ et $(g > d)$ lorsque la décision portait sur $\Delta_i \in (d > g)$ versus $\Delta_i \notin (d > g)$ (Figure 27) ou sur $\Delta_i \in (g > d)$ versus $\Delta_i \notin (g > d)$ (Figure 28).

Il est bien clair que l'on ne saurait pas se fier d'une façon stricte aux valeurs numériques des distances ainsi mesurées, soit à cause de l'instabilité inévitable tant des réponses obtenues que de notre estimation graphique des droites — instabilité qui n'est d'ailleurs pas suffisamment contrebalancée par le nombre relativement restreint d'observations recueillies —, soit par le fait qu'il est difficile de savoir si l'écart-type

utilisé comme mesurant est celui de la distribution de Δ pour $d > g$, ou pour $g > d$, ou pour $g = d$, ou encore celui des distributions composites de Δ pour $(d > g) + (d = g)$ ou pour $(g > d) + (g = d)$. Néanmoins, on peut tenir compte simplement de l'ordre de grandeur ($\pm 1/10$) de telles mesures ce qui est tout à fait suffisant pour notre problème.

La pente des deux droites relatives aux deux catégories de critères pourrait aussi nous donner des renseignements intéressants concernant la grandeur relative des variances des deux distributions de Δ que le sujet construit en fonction des fréquences perçues.

En effet — en accord avec la TDS — une droite construite sur les points-critères “Droite”, et ayant une pente supérieure à 1, pourrait faire penser que la variance de la distribution de Δ pour $\sim (d > g)$ est plus grande que la variance de la distribution de Δ pour $(d > g)$ (cf. Figure 29), ce qui serait d'ailleurs concevable en admettant que la distribution $\sim (d > g)$ est en fait la composition des deux distributions $(g < d)$ et $(g = d)$.

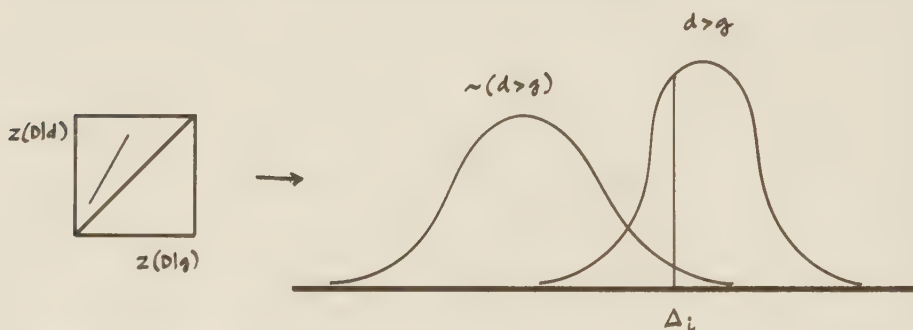


Figure 29: Cas où la pente de la “R.O.C. Curve” indique une variance plus grande à gauche.

D'une façon analogue, une droite relative aux critères “Gauche”, et ayant une pente inférieure à 1, pourrait nous porter à ces conclusions symétriques pour les réponses “Gauche” (cf. Figure 30).

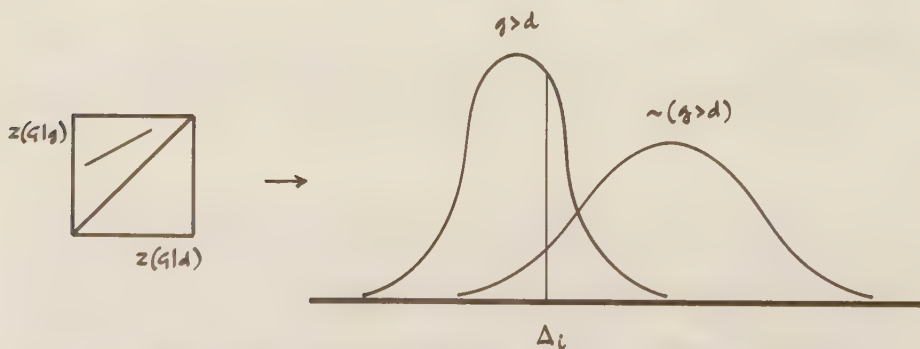


Figure 30: Cas où la pente de la “R.O.C. Curve” indique une variance plus grande à droite.

Mais pour ce qui est de nos propres résultats, nous préférons ne pas nous servir de tels indices, car le nombre d'observations dont nous disposons est de l'ordre des centaines, alors qu'il en faudrait des milliers, sinon des dizaines de milliers, pour que l'on puisse tirer de ces indices des conclusions statistiquement significatives.

A ce propos, il nous paraît intéressant de reproduire ici (Figure 31) un graphique calculé par GREEN & SWETS (1966, p. 403), montrant les écarts probables de $\pm 1 \sigma$ autour des points principaux pouvant être obtenus sur un graphique de probabilité double à axes normalisés. Comme on le voit, les écarts probables sont beaucoup plus grands en correspondance des valeurs extrêmes de l'une ou l'autre des coordonnées alors que pour des valeurs médianes la variabilité est moins importante. Si l'on pense que les calculs de GREEN & SWETS portent sur 600 observations, on se rend facilement compte du peu de crédit d'une pente obtenue sur 200-300 observations, alors que — d'autre part — la distance entre la droite représentant la Fonction d'Efficacité du Récepteur ("Receiver Operating Characteristic Curve") et la diagonale positive demeure suffisamment stable.

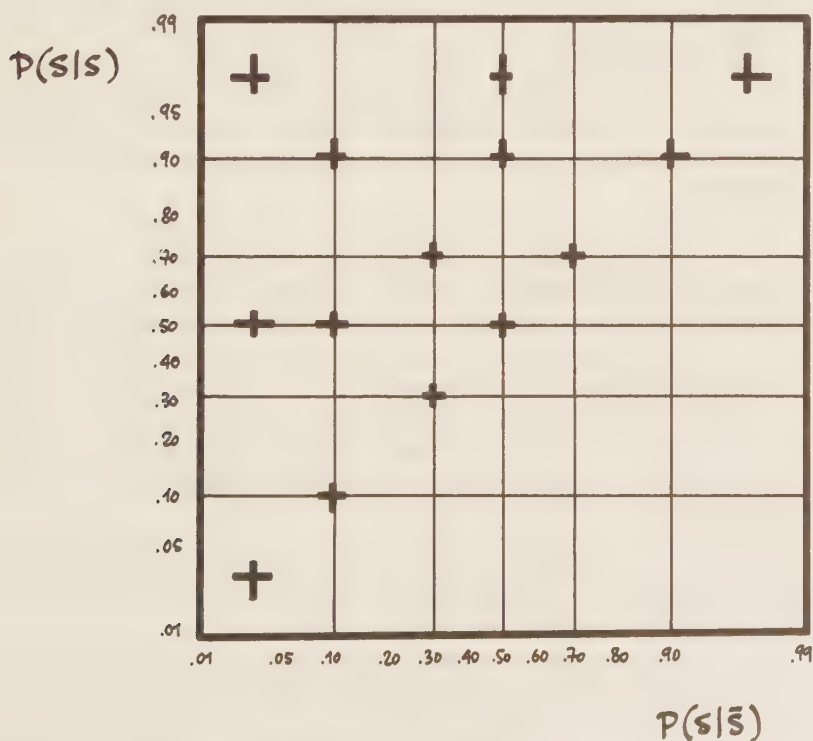


Figure 31: Ecarts probables de $\pm 1 \sigma$ autour des points-critères dans un graphique à axes normalisés, calculés sur 600 observations par point (d'après GREEN & SWETS, 1966, p. 403).

En guise de conclusion à ce long paragraphe sur la technique d'analyse statistique que nous avons décidé d'adopter, nous résumerons brièvement les considérations qui nous ont guidés dans notre choix et les indices que cette méthode d'analyse permettra d'extraire de nos résultats expérimentaux.

Pour ce qui est du choix de la méthode :

- nous avons tout d'abord examiné la tâche que nous demandions à nos sujets et nous nous sommes aperçus qu'elle peut consister en fait en un problème de décision statistique tout à fait analogue à celui qu'un "test" statistique classique essaie de résoudre;
- cela nous a poussés à tenter d'appliquer à nos résultats expérimentaux les techniques d'analyse statistique suggérées par la Théorie de la Détection de Signaux, qui est construite sur une problématique semblable et qui, en outre, fournit des moyens d'analyse très satisfaisants;
- nous avons donc analysé en détail le modèle proposé par la TDS; nous l'avons confronté à notre situation expérimentale et nous avons constaté que, s'il était en effet applicable dans ses principes, on devait néanmoins introduire une légère modification dans la procédure d'analyse des résultats afin de traiter séparément les deux catégories de réponses que nos sujets allaient nous fournir en se servant très probablement de deux critères décisionnels distincts, et non pas d'un seul comme le modèle de la TDS le postule.

'Pour ce qui est de l'analyse statistique :

- nous avons au préalable décidé d'adapter notre procédure expérimentale aux exigences du modèle d'analyse choisi, en demandant à nos sujets non seulement de nous indiquer où ils pensaient avoir perçu les éclairs les plus fréquents — à "Droite" ou à "Gauche" —, mais aussi de nous signaler avec quel degré de certitude ils émettaient leur réponse, cela afin de pouvoir contrôler, dans notre analyse, les fluctuations du critère décisionnel adopté par nos sujets;
- une fois les résultats recueillis, nous avons analysé séparément les réponses "Droite" et les réponses "Gauche", pour les raisons que nous avons énoncées plus haut;
- pour chaque catégorie de réponse, nous avons ensuite calculé, par une méthode d'interpolation graphique, la Fonction d'Efficacité du Récepteur ("Receiver Operating Characteristic Curve") pour chaque sujet, chaque groupe de sujets et chaque fréquence moyenne d'allumages (fixées à : 10; 20; 50; 100 et 200 éclairs par minute);

- pour chacune des “R.O.C. Curves” ainsi calculées, nous avons mesuré la distance les séparant de la diagonale positive (correspondant à la “R.O.C. Curve” d’efficacité nulle) : cet indice, que nous avons appelé Δ , exprime la différence *subjective* perçue par nos sujets entre les deux fréquences moyennes d’allumages de la lampe de droite et de celle de gauche;
- l’indice Δ — qui est indépendant des critères décisionnels adoptés et donc très stable — va constituer notre paramètre fondamental : il mesure la “sensibilité discriminante” du sujet et est censé varier en fonction des différentes valeurs des fréquences moyennes d’éclairs adoptées;
- enfin, nous avons renoncé à nous servir de l’information contenue dans la pente des “R.O.C. Curves” étant donné que le nombre relativement restreint de nos observations rendait cet indice trop instable.

Quatrième partie

ANALYSE DES DONNEES EXPERIMENTALES

I. POPULATION ETUDIEE

Les données expérimentales ont été recueillies sur une population ainsi constituée :

- 4 sujets de 8 ans, qui nous ont donné en tout 200 réponses;
- 5 sujets de 10 ans, qui nous ont fourni en tout 1.000 réponses;
- 2 sujets de 12 ans, qui nous ont fourni en tout 400 réponses;
- 6 sujets adultes, qui nous ont donné en tout 1.500 réponses;
- 2 sujets adultes (de contrôle) qui ont fourni en tout 1.000 réponses.

L'ensemble des résultats est donc basé sur 4.100 observations.

Dans la mesure du possible, nous avons évité d'interroger des sujets ayant des défauts de la vue non corrigés; en particulier, nous avons veillé à ce que nos sujets ne soient pas astygmates, même corrigés.

II. RESULTATS GLOBAUX

Afin de rendre plus aisée la lecture des graphiques et des Tableaux qui résument nos résultats, rappelons très brièvement les aspects fondamentaux de notre procédure expérimentale et de nos méthodes de dépouillement.

Pour ce qui est de la procédure expérimentale :

- le sujet observe pendant un certain temps (variable, selon les sujets, de 15 à 30 secondes) deux petites lampes-néons, distantes l'une de l'autre de 35 mm. (distance d'observation : 2.5-3 mètres), qui émettent des éclairs lumineux de 10 centisecondes, à des intervalles irréguliers;
- l'apparition des éclairs est strictement aléatoire, suivant une loi de Poisson, et des compteurs à relais enregistrent le nombre d'éclairs qui se sont produits pendant la durée d'observation;
- après une période d'observation, le sujet doit indiquer laquelle des deux lampes s'est allumée — à son avis — le plus souvent : il peut répondre "Droite" ou "Gauche", mais la réponse "Egal" ou "Je ne sais pas" lui est interdite;

- en plus de son jugement différentiel, le sujet doit fournir une appréciation du degré de certitude qu'il attribue à sa réponse, soit verbalement en se référant à une échelle conventionnelle en six points (5 = absolument sûr; 4 = presque sûr; 3 = assez sûr; 2 = peu sûr; 1 = très peu sûr; 0 = pas sûr du tout), soit graphiquement en plaçant un repère sur un segment de droite;
- l'expérimentateur, qui a réglé les deux lampes de sorte qu'elles émettent, *en moyenne*, le même nombre d'éclairs par minute, récolte, avec la procédure que nous venons de rappeler, un certain nombre de réponses sur le même sujet, sans modifier le réglage des lampes, mais en laissant au hasard seul le soin de faire varier la fréquence des éclairs lumineux;
- ayant ainsi recueilli un nombre suffisant de réponses (variable, selon les sujets, de 10 à 50) à une fréquence moyenne donnée, l'expérimentateur modifie le réglage des lampes de façon à obtenir une fréquence *moyenne* d'éclairs plus rapide ou plus lente, mais toujours identique pour les deux lampes et recommence l'expérimentation;
- l'expérimentation a porté sur cinq valeurs de fréquence moyenne d'impulsions : 10, 20, 50, 100 et 200 éclairs par minute.

Pour ce qui est de la méthode de dépouillement et d'analyse statistique des résultats :

- on classe tout d'abord les réponses "Droite" et "Gauche" fournies par le sujet en six catégories correspondant aux six niveaux de certitude utilisés;
- en comparant les réponses du sujet aux valeurs enregistrées par les compteurs à relais de chaque lampe, on classe, à l'intérieur de chaque niveau de certitude, les réponses en quatre catégories :
 - réponses "Droite" justes : D/d;
 - réponses "Droite" fausses : D/g;
 - réponses "Gauche" justes : G/g;
 - réponses "Gauche" fausses : G/d;
- pour chaque niveau de certitude, on calcule les *proportions cumulées* (vers le niveau le plus faible) de chacun des quatre types de réponses;
- on transforme chacune de ces proportions en valeurs "z", d'après la Loi Normale Réduite;
- sur un graphique de probabilité double à axes normalisés, on place les points correspondant aux coordonnées z (D/g); z (D/d), d'une part, et z (G/d); z (G/g), d'autre part;

- on ajuste sur les points ainsi déterminés deux droites : une correspondant aux réponses “Droite” et une correspondant aux réponses “Gauche”;
- on mesure, le long de la diagonale négative du graphique, les distances séparant chacune des deux droites de la diagonale positive et on projette — parallèlement à la diagonale positive — ces distances sur l’axe des abscisses;
- on obtient ainsi deux valeurs Δ ; un Δ_d et un Δ_g , chacune mesurée en unités-sigma qui expriment respectivement l’écart *subjectif* entre le nombre *moyen* d’éclairs perçus à la lampe de droite et le nombre *moyen* d’éclairs perçus ailleurs, et l’écart *subjectif* entre le nombre *moyen* d’éclairs perçus à la lampe de gauche et le nombre *moyen* d’éclairs perçus ailleurs;¹
- on calcule également un Δ moyen qui exprime l’écart *moyen perçu subjectivement* par le sujet entre la fréquence moyenne d’éclairs subjectivement perçue à la lampe de droite et la fréquence moyenne d’éclairs subjectivement perçue à la lampe de gauche;
- l’ensemble de cette analyse se fait par sujet et par groupe de sujets, pour chacune des fréquences moyennes d’impulsions étudiées.

La mesure qui résume donc de la façon la plus exhaustive l’information contenue dans nos résultats est le Δ moyen, qui exprime le degré de sensibilité (“sensitivity” est le terme anglais utilisé par la TDS) d’un sujet ou d’un groupe de sujets face à la tâche de discrimination que nous lui demandons.

Le Δ moyen est *grosso modo* assimilable à une mesure de seuil différentiel, mais avec des différences importantes : tout d’abord, il n’est pas exprimé avec la même unité de mesure que les stimuli physiques expérimentaux, ni non plus en pourcentage par rapport à la grandeur réelle de ceux-ci, mais il utilise une unité de mesure en quelque sorte “interne” aux sujets eux-mêmes; en deuxième lieu, il est *directement* proportionnel au degré de sensibilité perceptive du sujet, et non pas *inversement* proportionnel : un Δ grand est donné par un sujet dont le degré de sensibilité est élevé, alors qu’un seuil différentiel grand est fourni par un sujet dont la sensibilité discriminante est faible; en troisième lieu enfin, le Δ est une mesure de la sensibilité du sujet, *indépendante* des critères que celui-ci se donne pour fournir ses réponses : indépendante

¹ Δ_d n’est pas nécessairement égal à Δ_g , à cause de l’utilisation probable de deux critères distincts pour les jugements “droite par rapport à gauche” et “gauche par rapport à droite”. Pour plus de détails, cf. TROISIEME PARTIE, III, 3.

donc de tout ce complexe de variables motivationnelles, émotives, affectives, etc. qui ne sont pas contrôlées dans une mesure de seuil "classique" et qui la rendent donc très instable. C'est cette troisième caractéristique, d'ailleurs, qui nous a incité à préférer le Δ au seuil différentiel "classique".¹

Nous avons donc calculé, pour avoir une vision générale de nos résultats, le Δ moyen pour chaque groupe de sujets et pour chacune des fréquences moyennes de base.

Ces résultats sont consignés dans le Tableau VII et, sous forme graphique, à la Figure 32.

TABLEAU VII :

Valeurs du Δ moyen pour chaque groupe d'âge et pour chaque fréquence moyenne d'éclairs (en impulsions/minute).

FREQUENCES	10	20	50	100	200
GROUPE Adultes 1	2.80	2.05	1.00	2.10	1.90
Adultes 2	1.80	1.20	0.75	1.15	1.30
12 ans	2.00	1.70	0.75	2.00	2.20
10 ans	1.65	1.05	0.45	0.95	1.65
8 ans	3.95	0.60	1.00	1.40	2.00

¹ Nous avons, à titre comparatif, analysé une partie de nos résultats selon la méthode "classique", pour calculer des seuils différentiels aux différentes fréquences moyennes de base utilisées. Avec cette méthode, toute systématisme disparaît et les résultats deviennent inutilisables. Nous avons consigné ces documents dans la partie finale de l'APPENDICE A.

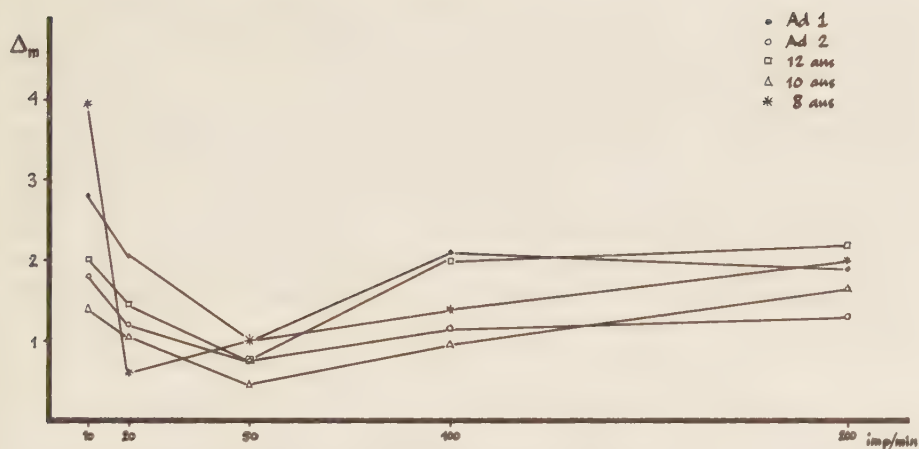


Figure 32 : Représentation graphique des données du Tableau VII.

La cohérence des résultats, visible surtout à la Figure 32, est assez surprenante : l'ensemble des sujets interrogés a fourni un indice de "sensitivity" relativement faible pour les fréquences moyennes d'éclairs intermédiaires et un indice plus élevé pour les fréquences moyennes plus extrêmes : en d'autres mots, nos sujets ont su détecter une différence entre les fréquences des éclairs des deux lampes avec beaucoup plus de précision lorsque les éclairs étaient très fréquents ou peu fréquents (200 ou 10 par minute) que lorsqu'ils apparaissaient à une fréquence intermédiaire (50-20 par min.).

Tous nos sujets, sauf ceux de 12 ans, ont fourni leur meilleur indice de sensibilité à une fréquence moyenne de 10 éclairs par minute; en augmentant la fréquence moyenne des éclairs lumineux, leur indice Δ baisse et atteint sa valeur minimale à 50 éclairs par minute (sauf chez les sujets de 8 ans où le Δ minimum est déjà atteint à 20 éclairs/minute); puis il augmente à nouveau jusqu'à retrouver, pour 200 éclairs/minute, une valeur proche de celle obtenue à 10 éclairs/minute, sinon supérieure comme chez les enfants de 12 ans.

Si l'allure des courbes exprimant l'évolution de Δ en fonction de la fréquence moyenne des éclairs est qualitativement semblable à tous les âges, on peut néanmoins constater que les Adultes 1 et les enfants de 12 ans ont fourni, en général, des indices de sensibilité plus élevés que les enfants de 10 ans et les Adultes 2 (de contrôle), les enfants de 8 ans donnant des indices intermédiaires.

Du point de vue statistique, la question se pose immédiatement de savoir si les fluctuations observées sont significatives : c'est-à-dire, par exemple, si le Δ minimum observé à 50 éclairs/minute est un "vrai" minimum ou simplement un écart que le hasard seul aurait de fortes

chances de donner. Un tel doute est plus que légitime, étant donné que, du point de vue numérique, les indices recueillis ne diffèrent les uns des autres que d'une ou deux unités au plus.

Pour répondre à cette question, il est tout d'abord nécessaire de rappeler quelle est la nature statistique de l'indice Δ : d'après la Théorie de la Détection de Signaux — à laquelle nous avons emprunté la méthode de calcul de Δ — cet indice exprime la distance, perçue par le sujet, entre la fréquence moyenne des éclairs perçus à la lampe de gauche et la fréquence moyenne des éclairs perçus à la lampe de droite, et cette distance est *exprimée en unités-sigma*. La Figure 33 visualise cette définition.

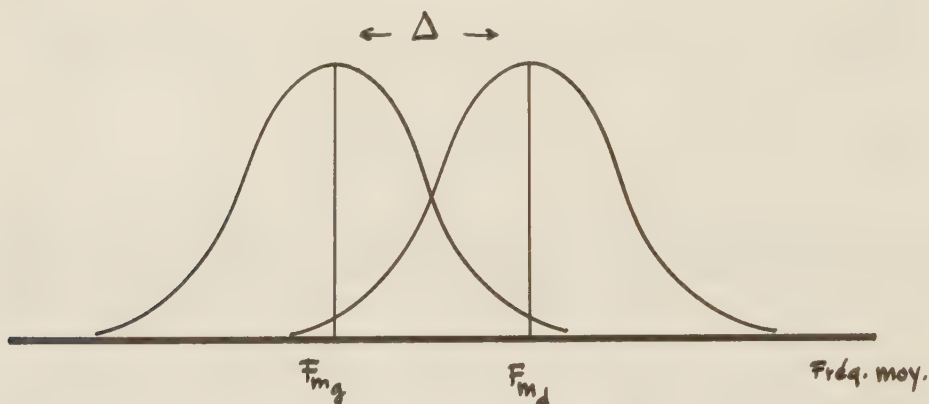


Figure 33: L'indice Δ exprime la distance entre la fréquence moyenne des éclairs perçus à gauche et la fréquence moyenne des éclairs perçus à droite.

Δ étant ainsi défini, on peut raisonnablement admettre que sa distribution d'échantillonnage se rapproche de celle du "t" de Student, qui a comme erreur standard :

$$\sigma = \sqrt{\frac{m}{m-2}} \quad (36)$$

Où m est le nombre des degrés de liberté.

L'expression (36) tend asymptotiquement vers 1 lorsque m augmente et elle est déjà sensiblement proche de 1 pour $m = 20$.

Nous pouvons donc considérer comme égale à 1 l'erreur standard d'échantillonnage de notre indice Δ , puisque dans nos situations expérimentales m est toujours supérieur à 20.

Ainsi, en examinant les différences entre le Δ *minimum* et le Δ *maximum* observés pour chaque groupe de sujets (cf. Tableau VII), on s'aperçoit facilement qu'elles sont toujours supérieures à 1 erreur standard, ce qui leur confère une probabilité d'apparition, par hasard, ne dépassant jamais $P = .15$. Dans le détail, ces différences et les valeurs de probabilité qui leur sont associées sont les suivantes :

Adultes 1 :	Δ	max	—	Δ	min	=	1.80; P = .04
Adultes 2 :	"		—	"		=	1.05; P = .15
12 ans :	"		—	"		=	1.45; P = .07
10 ans :	"		—	"		=	1.20; P = .11
8 ans :	"		—	"		=	3.35; P = .0004

Sur cinq différences, deux sont franchement significatives du point de vue statistique, une a une probabilité proche du seuil conventionnel $\alpha = .05$ et deux ont des probabilités comprises entre .10 et .15.

Les *minima* observés dans les cinq groupes de mesures ne sont donc pas tous statistiquement significatifs : néanmoins, il nous paraît légitime de les considérer comme des indices d'une certaine systématcité, étant donné, d'une part, les faibles probabilités associées aux écarts constatés à l'intérieur d'un même groupe de mesures et, d'autre part, — et surtout — le fait que ces *minima* se manifestent dans la plupart des cas en correspondance avec la même valeur de fréquence moyenne d'éclairs : 50 par minute. Ce phénomène, d'ailleurs, se retrouve avec une régularité surprenante, même au niveau des réponses individuelles, comme on peut le constater dans les paragraphes suivants.

III. RESULTATS DETAILLES

1. Groupe "Adultes 1"

Ce groupe comprend 6 sujets dont l'âge varie entre 20 et 30 ans; chaque sujet a fourni 50 réponses pour chacune des cinq fréquences moyennes d'éclairs, soit au total 250 réponses, distribuées en cinq séances. Chaque réponse était basée sur une période d'observation de 30 secondes et exprimée verbalement. L'expérimentation se déroulait individuellement.

Les indices de sensibilité Δ d pour les réponses "droite plus fréquent que gauche", Δ g pour les réponses "gauche plus fréquent que droite" et Δ moyen, pour chacune des fréquences moyennes de base et pour chaque sujet, sont réunis au Tableau VIII. La Figure 34 exprime graphiquement les variations de l'indice Δ moyen de chaque sujet en fonction de la fréquence moyenne des éclairs.

TABLEAU VIII :

Valeurs de Δd , Δg et Δ moyen pour chaque sujet "Adulte 1" et pour chaque fréquence moyenne d'éclairs par minute.

	fréq.	10	20	50	100	200
suj. A	Δd	2.8	1.8	1.4	2.9	3.0
	Δg	3.2	1.8	1.4	2.9	4.0
	Δm	3.0	1.8	1.4	2.9	3.5
B	Δd	2.0	1.9	1.5	2.7	2.1
	Δg	2.3	2.2	1.4	2.8	2.1
	Δm	2.1	2.0	1.4	2.7	2.1
C	Δd	4.5	2.3	0.4	3.2	2.4
	Δg	2.1	3.0	1.2	1.7	2.5
	Δm	3.3	2.6	0.8	2.4	2.4
D	Δd	5.0	1.0	0.9	2.5	3.7
	Δg	5.2	2.0	1.5	1.6	2.5
	Δm	5.1	1.5	1.2	2.0	3.1
E	Δd	3.5	1.8	1.3	2.1	1.8
	Δg	2.4	1.8	0.7	1.2	1.8
	Δm	2.9	1.8	1.0	1.6	1.8
F	Δd	4.5	2.0	0.8	2.1	1.5
	Δg	2.1	2.3	0.7	1.9	1.9
	Δm	3.3	2.1	0.7	2.0	1.7

La présence d'un *minimum* parmi les valeurs de l'indice ressort de façon frappante à la Figure 34 : tous les sujets ont un indice de sensibilité minimal qui correspond à la fréquence moyenne de 50 éclairs par minute. En outre, en examinant les valeurs reportées au Tableau VIII, on s'aperçoit que ce même *minimum* est également présent dans les indices Δd et Δg de chaque sujet.

Une telle systématique rend superflu tout calcul visant à définir la signification statistique des résultats obtenus : cela n'ajouterait que peu de chose à l'évidence des données expérimentales elles-mêmes.

Par contre, il ne semble pas y avoir de tendances systématiques dans les différences entre les valeurs de Δd et les valeurs de Δg : la plupart des sujets ont fourni tantôt des Δd supérieurs aux Δg , tantôt l'inverse; seul

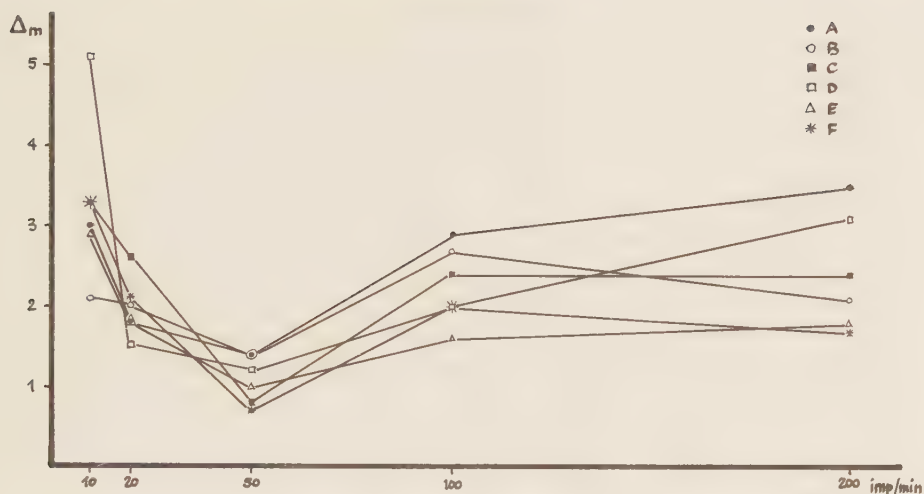


Figure 34: Evolution du Δ moyen de chaque sujet "Adulte 1" en fonction de la fréquence moyenne d'éclairs par minute.

le sujet E semble montrer une certaine tendance à donner des indices Δd supérieurs aux Δg , quand ils ne coïncident pas, mais cette tendance est trop faible. S'il y avait une systématique quelconque dans le sens de la différence ($\Delta d - \Delta g$), on aurait pu penser que nos sujets s'étaient donné un point de fixation stable et situé sur l'une ou l'autre des deux lampes, et cela malgré la consigne que nous leur avons donnée; en effet, un point de fixation entraînant toujours une surestimation de ce qui est fixé ou centré par le regard, les sujets qui adopteraient cette procédure seraient plus sensibles à des différences lorsque la lampe fixée émet plus d'éclairs que l'autre qu'à des différences dans l'autre sens. Mais de telles considérations sont inapplicables ici puisque les proportions des deux types de différence ($\Delta d - \Delta g$) ne s'écartent pas significativement des proportions que le hasard seul pourrait donner, tant par sujet que par fréquence moyenne de base.

Tout ce que nous venons de discuter ne concerne que les indices de sensibilité des sujets, calculés à partir de leurs réponses subjectives. Il ne faut cependant pas négliger les données objectives recueillies par les compteurs à relais pendant l'expérimentation : ainsi nous avons réuni au Tableau IX les fréquences moyennes et les écarts-types des éclairs effectivement apparus aux deux lampes, par sujet et par fréquence moyenne de base.

TABLEAU IX :

Moyennes et écarts-types (sur N = 50) du nombre d'éclairs apparus à chaque lampe pendant la période d'observation de 30''.

sujets			A	B	C	D	E	F
fréq.	lampes	imp.						
10	G	m	3.52	4.90	5.30	5.54	4.64	5.22
		σ	1.67	2.09	1.70	2.25	2.30	2.53
	D	m	4.12	4.96	4.46	4.82	4.54	5.16
		σ	1.95	2.40	1.90	1.87	2.56	2.00
20	G	m	8.16	8.84	10.86	12.02	11.48	9.16
		σ	3.23	3.36	2.53	4.34	3.52	2.87
	D	m	9.12	10.14	10.34	11.40	13.60	10.34
		σ	3.03	2.87	3.00	2.95	3.00	2.77
50	G	m	26.28	26.00	27.28	21.94	25.48	25.16
		σ	4.92	4.59	4.53	3.58	4.70	4.99
	D	m	26.56	23.54	25.68	22.40	25.76	26.26
		σ	4.75	4.12	4.45	4.12	4.83	5.29
100	G	m	47.04	49.32	54.26	49.82	56.36	52.24
		σ	5.65	6.82	5.26	7.05	5.80	7.13
	D	m	49.56	48.24	56.82	52.46	55.52	54.46
		σ	5.62	7.06	5.84	5.88	5.52	5.24
200	G	m	99.88	101.20	96.26	97.04	103.64	97.48
		σ	5.90	7.27	5.33	7.36	6.62	6.08
	D	m	100.42	109.60	94.76	103.38	105.10	94.80
		σ	6.84	6.02	6.90	8.37	6.32	7.06

Au Tableau IX il est intéressant de noter les différences entre le nombre moyen d'éclairs apparus à la lampe de gauche et le nombre de ceux apparus à la lampe de droite : la plupart de ces différences sont de une ou deux impulsions au maximum, deux seulement étant supérieures (−8.40 pour le sujet B, 200 imp./min. et −6.34 pour le sujet D, 200 imp./min.). Si, en outre, on rapporte les différences entre les deux moyennes aux écarts-types — ou à l'écart-type moyen — qui leur corres-

pondent, on s'aperçoit que la seule différence supérieure, et de peu, à 1 sigma est celle observée à 200 imp./min. pour le sujet B; toutes les autres sont de l'ordre de grandeur d'un demi sigma.

Rien donc, dans les différences objectives entre les éclairs de l'une et de l'autre des lampes ne permet de prévoir l'allure caractéristique et systématique des indices subjectifs Δ . On peut bien constater une tendance à ce que la différence entre les deux moyennes objectives soit proportionnelle à la grandeur de celles-ci, ce qui d'ailleurs est tout à fait normal dans un Aléa de Poisson où la variance est égale à la moyenne. Mais ni ce phénomène, ni d'autres types de régularités dans les données objectives ne semblent pouvoir rendre compte des variations observées dans les indices subjectifs : en particulier, la présence d'un *minimum* assez net dans les indices Δ ne semble pas avoir de contre-partie dans les valeurs objectives des différences entre les nombres moyens d'éclairs des deux lampes.

2. Groupe "Adultes 2"

Ce groupe comprend deux autres sujets adultes qui se distinguent de ceux du groupe précédent par le fait d'avoir été soumis à une période d'observation réduite à 20 secondes et à un mode de réponse graphique. Chaque sujet a fourni 100 réponses pour chacune des cinq fréquences moyennes de base, soit, au total, 500 réponses, distribuées en cinq séances. L'expérimentation se déroulait en collectif.

Au Tableau X, on trouvera réunies les valeurs de Δd , Δg et Δm moyen fournies par chacun des sujets à chacune des fréquences moyennes d'éclairs. L'évolution des Δ moyens de chaque sujet en fonction des fréquences moyennes de base est également représentée à la Figure 35.

TABLEAU X :

Valeurs de Δd , Δg et Δm pour chaque sujet "Adulte 2" et pour chaque fréquence moyenne d'éclairs par minute.

	fréq.	10	20	50	100	200
suj. A	Δd	1.8	1.3	0.5	0.8	1.1
	Δg	1.9	1.2	1.1	0.8	1.3
	Δm	1.8	1.3	0.8	0.8	1.2
B	Δd	1.1	1.4	0.8	2.0	1.5
	Δg	1.8	1.0	1.7	0.3	1.3
	Δm	1.4	1.2	1.2	1.1	1.4

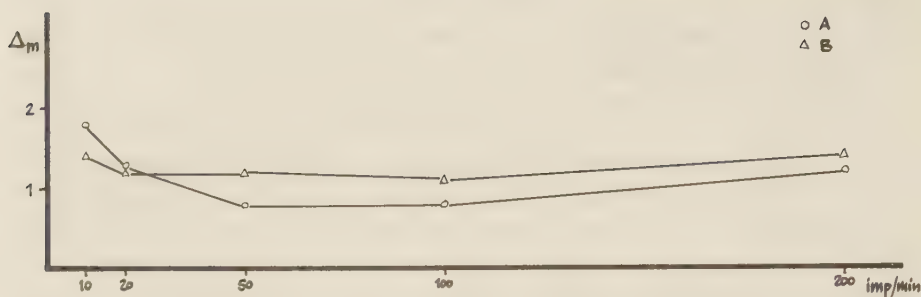


Figure 35: Evolution du Δ moyen de chaque sujet "Adulte 2" en fonction de la fréquence moyenne d'éclairs par minute.

L'allure générale des résultats de ce groupe rappelle sensiblement celle que l'on avait constatée chez le groupe précédent; toutefois, la présence d'un *minimum* est ici moins évidente, et notamment le Δ *minimum* semble ne pas correspondre à la seule fréquence moyenne de 50 éclairs par minute, mais s'étendre également à la fréquence de 100 éclairs par minute.

Si les valeurs de Δ moyen montrent une chute faible et peu évidente aux alentours de 50-100 éclairs par minute, les valeurs des indices Δd et Δg , en revanche, signalent avec assez de netteté la présence d'un *minimum*; mais, chose curieuse, alors que pour les indices Δd le *minimum* se situe pour nos deux sujets à 50 éclairs par minute, pour les indices Δg le *minimum* se déplace à 100 éclairs par minute, chez les deux sujets également. En outre, les *minima* des valeurs Δd et Δg ont des probabilités d'apparition, par hasard, plus faibles que ceux des Δ moyens.

Il est possible que les sujets de ce groupe aient centré, avec le regard ou l'attention ou les deux, de façon systématique la lampe de droite, réduisant ainsi leur "sensitivity" à l'égard des éclairs provenant de la lampe de gauche¹; mais cela n'est, pour le moment du moins, qu'une hypothèse. Ce qui nous paraît beaucoup moins hypothétique est la présence, même dans les résultats de ce deuxième groupe de sujets, d'un minimum de sensibilité en correspondance des fréquences moyennes d'éclairs intermédiaires, et cela malgré les irrégularités des données observées.

Il reste maintenant à rendre compte des fréquences d'éclairs réellement observées au cours de l'expérimentation, et qui ont été enregistrées par les compteurs de l'appareil. Le Tableau XI réunit ces données, sous forme de moyennes et écarts-types du nombre d'éclairs effectivement

¹ Et réduisant donc la probabilité qu'un trou capte une balle (i.e. qu'une "rencontre" puisse avoir lieu), ce qui déplace le *maximum* des couplages incomplets vers les valeurs plus grandes de k (cf. DEUXIEME PARTIE, I, 4).

produits par les deux lampes pendant la période d'observation de 20'', et cela par fréquence moyenne de base et pour les deux sujets (les valeurs sont les mêmes pour les deux sujets, l'expérience s'étant déroulée en collectif).

TABLEAU XI :

Moyennes et écarts-types (sur N = 100) du nombre d'éclairs apparus à chaque lampe pendant la période d'observation de 20''.

sujets			A et B
fréq.	lampes	imp.	
10	G	m	3.50
		σ	1.95
	D	m	4.06
		σ	1.78
20	G	m	7.13
		σ	2.86
	D	m	7.23
		σ	2.81
50	G	m	16.01
		σ	4.41
	D	m	16.30
		σ	3.88
100	G	m	33.90
		σ	5.92
	D	m	32.54
		σ	5.00
200	G	m	67.58
		σ	5.47
	D	m	66.22
		σ	5.50

L'analyse des données du Tableau XI montre, une fois encore, que les *minima* observés entre les valeurs des indices subjectifs Δd , Δg et Δ moyen n'ont aucune contre-partie dans les mesures objectives : en effet, les différences entre le nombre moyen d'éclairs apparus à la lampe de gauche et le nombre moyen d'éclairs apparus à la lampe de droite ne sont pas plus petites à 50 ou 100 éclairs par minute et plus grandes aux autres fréquences : elles sont en gros proportionnelles au nombre moyen d'éclairs et, en outre, leur grandeur est relativement faible, se situant aux alentours d'un quart de sigma pour toutes les fréquences moyennes de base.

3. Groupe "Enfants 12"

Ce groupe est constitué de deux enfants de 12 ans qui ont observé le clignotement des deux lampes pendant des durées de 15 secondes, 40 fois pour chacune des fréquences moyennes de base. Chaque sujet a donc fourni 200 réponses au total, en deux séances de 100 réponses chacune. L'expérimentation se faisait collectivement.

Les valeurs des indices Δd , Δg et Δ moyen calculées sur les réponses données par chacun des sujets à chacune des fréquences moyennes d'éclairs, sont consignées au Tableau XII. La Figure 36 traduit graphiquement l'évolution du Δ moyen de chaque sujet en fonction des fréquences moyennes de base.

TABLEAU XII :

Valeurs de Δd , Δg et Δm pour chaque sujet "Enfants 12" et pour chaque fréquence moyenne d'éclairs par minute.

	fréq.	10	20	50	100	200
suj. A	Δd	2.0	1.8	0.5	2.1	2.5
	Δg	2.7	1.8	0.9	2.1	2.5
	Δm	2.3	1.8	0.7	2.1	2.5
B	Δd	1.8	1.4	0.7	2.5	2.0
	Δg	1.9	1.7	0.7	1.4	1.7
	Δm	1.8	1.5	0.7	1.9	1.8

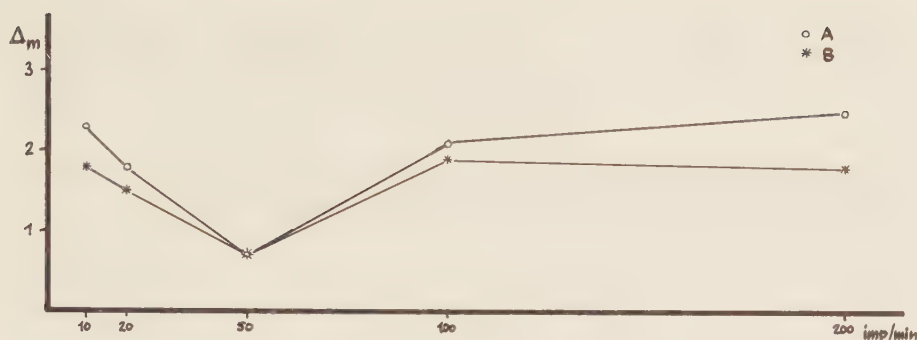


Figure 36 : Evolution du Δ moyen de chaque sujet "Enfant 12" en fonction de la fréquence moyenne d'éclairs par minute.

Dans les résultats de ce groupe de sujets, on retrouve, et de façon assez nette, le *minimum* que l'on avait déjà rencontré chez les adultes du premier groupe : en effet, nos deux sujets donnent un indice Δ moyen *minimum* en correspondance avec la fréquence moyenne de 50 éclairs par minute (cf. Figure 36) et le même phénomène se retrouve entre les valeurs de Δd et Δg des deux sujets (cf. Tableau XII).

Si les valeurs de Δd , comparées à celles de Δg , ne semblent pas montrer de tendances systématiques, il est par ailleurs à signaler que les *minima* observés, tant pour les Δd et les Δg que pour les Δ moyens, représentent des écarts de l'ordre de 1 1/2 erreur-standard, ce qui leur confère une probabilité d'apparition, par hasard, d'environ 0.07 au plus.

En outre, comme on l'avait déjà fait remarquer à propos des résultats des groupes précédents, les tendances régulières qui apparaissent dans les indices de sensibilité subjectifs des sujets de ce groupe n'ont aucune contre-partie dans les paramètres objectifs enregistrés par nos appareils. Cela ressort assez facilement de l'examen des données du Tableau XIII où sont recueillies les moyennes et les écarts-types du nombre d'éclairs que chaque lampe a effectivement produits lors des périodes d'observation de 15", pour chacune des fréquences moyennes de base (les mêmes valeurs se retrouvent pour les deux sujets, l'expérimentation s'étant déroulée en collectif).

4. Groupe "Enfants 10"

Ce groupe se constitue de cinq enfants de 10 ans.

Chaque sujet a fourni 40 réponses pour chacune des fréquences moyennes de base, soit au total 200 réponses; chaque réponse était basée sur une période d'observation de 30" et exprimée graphiquement. L'expérimentation s'est déroulée collectivement, en 4 séances.

TABLEAU XIII :

Moyennes et écarts-types (sur $N = 40$) du nombre d'éclairs apparus à chaque lampe pendant la période d'observation de 15".

sujets		A et B	
fréq.	lampes	imp.	
10	G	m	2.66
		σ	2.07
	D	m	3.24
		σ	1.78
20	G	m	4.58
		σ	2.23
	D	m	4.87
		σ	2.13
50	G	m	12.20
		σ	5.07
	D	m	11.54
		σ	4.60
100	G	m	28.24
		σ	4.44
	D	m	26.76
		σ	3.88
200	G	m	47.51
		σ	4.83
	D	m	43.59
		σ	9.64

Le Tableau XIV réunit les indices Δd , Δg et Δ moyen de chaque sujet à chacune des fréquences moyennes de base. La Figure 37 exprime graphiquement l'évolution du Δ moyen de chaque sujet en fonction de la fréquence moyenne des éclairs.

TABLEAU XIV :

Valeurs de Δd , Δg et Δm pour chaque sujet "Enfant 10" et pour chaque fréquence moyenne d'éclairs par minute.

	fréq.	10	20	50	100	200
suj. A	Δd	2.3	0.7	0.1	1.1	1.0
	Δg	1.5	0.5	0.2	2.4	1.0
	Δm	1.9	0.6	0.1	1.7	1.0
B*	Δd	0.0	0.7	0.0	—	—
	Δg	0.0	1.6	0.3	—	—
	Δm	0.0	1.2	0.1	—	—
C	Δd	1.4	1.2	1.1	0.8	1.6
	Δg	1.3	1.2	0.8	0.6	1.5
	Δm	1.3	1.2	0.9	0.7	1.5
D	Δd	1.0	1.1	0.4	1.2	1.9
	Δg	2.3	1.1	0.4	1.2	1.7
	Δm	1.6	1.1	0.4	1.2	1.8
E	Δd	1.0	1.8	0.3	1.0	1.7
	Δg	2.2	1.8	0.4	0.9	1.9
	Δm	1.6	1.8	0.3	0.9	1.8

* cf. remarques dans le texte.

Le Tableau XIV appelle immédiatement quelques remarques. Les indices fournis par le sujet B sont fragmentaires et assez différents de ceux donnés par les autres sujets : ils indiquent notamment une sensibilité nulle à 10 éclairs par minute ce qui est plutôt surprenant. Or, le fait est que le sujet B a été quelque peu "indiscipliné" : dans la situation expérimentale où les lampes étaient réglées à une fréquence moyenne de 10 éclairs par minute, il a répondu systématiquement "Gauche" avec un

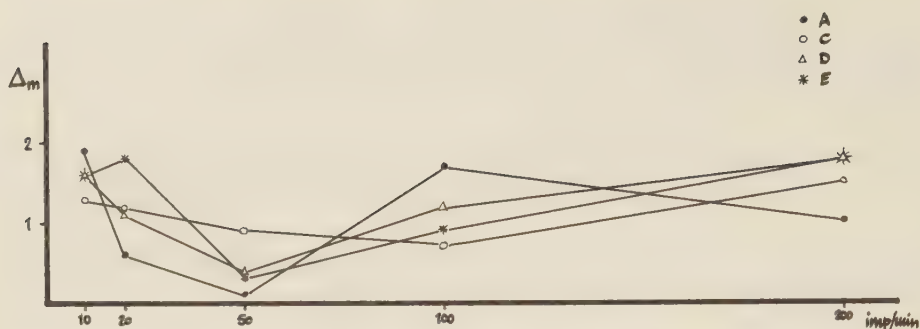


Figure 37: Evolution du Δ_m de chaque sujet "Enfant 10" en fonction de la fréquence moyenne d'éclairs par minute.

degré de certitude maximum, fournissant ainsi automatiquement 100% de réponses justes lorsque la lampe de gauche s'était effectivement allumée plus souvent que celle de droite et 0% de réponses correctes dans les cas contraires : de telles proportions sont évidemment traduites, sur un graphique à axes normalisés, par des points situés sur la diagonale positive, d'où un indice Δ nul. Par la suite, peut-être à cause de nos remarques et des réactions des autres sujets qui toléraient mal son exhubérance, le sujet B s'est montré moins assidu jusqu'à désertier complètement les séances d'expérimentation. Bien que les indices fournis par ce sujet soient donc peu valables et n'apportent pratiquement pas d'information à notre problème central, nous avons cependant voulu les reporter ici, à cause de leur intérêt méthodologique : en effet, ils nous paraissent constituer un exemple instructif de comment l'indice Δ peut permettre la détection des cas "aberrants".

Pour ce qui est des indices des autres sujets, on notera (Figure 37) qu'ils présentent tous un *minimum*, qu'il s'agisse de l'indice Δ_d , Δ_g ou Δ moyen (cf. Tableau XIV). La valeur minimale de chaque indice se situe, comme pour les sujets des groupes précédents, à la fréquence moyenne de 50 éclairs par minute, sauf pour le sujet C où les *minima* correspondent à la fréquence moyenne de 100 éclairs par minute.

Si l'on se rappelle que l'erreur standard de nos indices est égale à 1, on peut également constater que les *minima* représentent des déviations allant de 1.4 à 2.2 erreurs standard, sauf pour le sujet C où ils constituent des déviations de 0.8 à 0.9 erreurs standard. Leur probabilité d'occurrence, par hasard, est donc de 0.01 à 0.08 pour les sujets A, D, E et de 0.18 à 0.21 pour le sujet C.

Si l'on veut ensuite analyser les moyennes et les écarts-types du nombre d'éclairs effectivement produits par l'appareil aux deux lampes (Tableau XV), on retrouve les faits que les données des groupes précé-

dents avaient déjà montrés : d'une part, la proportionnalité entre le nombre moyen d'éclairs et la différence entre les moyennes gauche et droite; d'autre part, la grandeur de ces différences qui ne dépasse jamais un écart-type. Encore une fois, rien dans les différences objectives entre le nombre moyen d'éclairs apparus à la lampe de gauche et le nombre moyen d'éclairs apparus à la lampe de droite ne laisse prévoir les variations systématiques des indices subjectifs observées expérimentalement.

TABLEAU XV :

Moyennes et écarts-types (sur N = 40) du nombre d'éclairs apparus à chaque lampe pendant la période d'observation de 30''.

sujets			A	B	C et D*	E
fréq.	lampes	imp.				
10	G	m	5.64	6.21	5.64	6.13
		σ	2.42	2.37	2.42	2.29
	D	m	5.46	4.95	5.46	5.46
		σ	2.10	1.98	2.10	1.98
20	G	m	11.68	13.00	10.82	11.05
		σ	3.20	3.30	3.21	3.51
	D	m	12.10	13.42	11.72	12.18
		σ	3.69	3.95	3.66	3.92
50	G	m	28.32	25.35	27.91	27.91
		σ	5.13	4.39	5.26	5.26
	D	m	26.76	26.35	26.10	26.10
		σ	3.91	3.13	5.15	5.15
100	G	m	60.45	—	54.81	53.37
		σ	7.12	—	7.65	7.69
	D	m	59.70	—	57.74	53.68
		σ	6.31	—	6.78	7.12
200	G	m	98.20	—	97.50	94.86
		σ	5.87	—	5.63	7.14
	D	m	104.56	—	103.90	100.43
		σ	7.26	—	6.95	9.04

* ces deux sujets, régulièrement présents à toutes les séances, ont observé les mêmes séquences de stimuli.

5. Groupe "Enfants 8"

Ce groupe est constitué de 4 sujets de 8 ans qui ont observé les éclairs des deux lampes pendant 15 secondes, 10 fois par fréquence moyenne de base. Le nombre total de réponses fournies par chaque sujet est donc 50, distribué en deux séances de passation collective.

Le nombre trop restreint de réponses données par chaque sujet à chacune des fréquences moyennes de base, nombre dicté par la difficulté de concentration propre aux sujets de cet âge, rend inutile le calcul des indices de sensibilité individuels qui seraient par trop instables. Par contre, il est possible de calculer les indices pour tout le groupe : on les trouvera réunis au Tableau XVI.

TABLEAU XVI :

Valeurs de Δd , Δg et Δm pour le groupe de sujets "Enfants 8" et pour chaque fréquence d'éclairs par minute.

fréq.	10	20	50	100	200
Δd	5.0	0.8	1.5	1.4	2.2
Δg	2.9	0.4	0.5	1.4	1.8
Δm	3.9	0.6	1.0	1.4	2.0

La lecture du Tableau XVI montre assez clairement la présence d'un *minimum* pour chacun des trois indices : il se situe aux alentours de la fréquence moyenne de 20 éclairs par minute et représente un écart de 4.2, 2.5 et 3.3 erreurs standard pour l'indice Δd , Δg et Δm moyen respectivement, ce qui correspond à des probabilités d'occurrence, par hasard, allant de moins que 0.0001 à 0.0062.

L'examen des moyennes et des écarts-types du nombre d'éclairs réellement apparus à chacune des deux lampes pendant les périodes d'observation de 15" (cf. Tableau XVII) peut, à première vue, suggérer une certaine concordance entre les indices subjectifs et les données objectives : en effet, c'est également à la fréquence moyenne de 20 éclairs par minute que l'on a la plus petite différence (-0.21) objective entre le nombre moyen d'éclairs émis par la lampe de gauche et celui émis par la lampe de droite. Mais si l'on continue l'examen des données du Tableau XVII, on s'aperçoit également que, en correspondance avec la fréquence moyenne de 200 éclairs par minute, on a une très petite différence (-0.45) objective, alors que les indices subjectifs prennent, à cette même fréquence, des valeurs élevées. De plus, une constatation analogue peut être faite entre différences objectives et indices subjectifs correspondant à la fréquence moyenne de 10 éclairs par minute.

Une fois encore donc, les variations observées dans les indices de sensibilité fournis par ce groupe de sujets ne semblent correspondre en rien aux variations enregistrées par les compteurs de l'appareil.

TABLEAU XVII :

Moyennes et écarts-types (sur $N = 40$) du nombre d'éclairs apparus à chaque lampe pendant la période d'observation de 15".

sujets		GROUPE "ENF. 8"	
fréq.	lampes	imp.	
10	G	m	3.47
		σ	1.77
	D	m	2.58
		σ	1.35
20	G	m	4.16
		σ	1.95
	D	m	4.37
		σ	2.06
50	G	m	14.05
		σ	5.37
	D	m	13.25
		σ	3.06
100	G	m	25.21
		σ	7.78
	D	m	22.95
		σ	11.56
200	G	m	54.10
		σ	3.86
	D	m	54.55
		σ	5.54

6. Utilisation des niveaux de certitude

Lors des séances d'expérimentation, un fait singulier avait attiré notre attention : les jeunes sujets montraient une tendance assez systématique à associer des degrés de certitude extrêmes (par exemple "absolument sûr") à leurs réponses, alors que leurs aînés semblaient utiliser de façon plus homogène toute la gamme des niveaux de certitude qui leur était indiquée.

Pour concrétiser une telle impression, nous avons calculé le pourcentage de choix de chaque degré de certitude¹ pour chaque niveau d'âge, en mélangeant les groupes "Adultes 1" et "Adultes 2", et sans distinguer entre les réponses "droite" et les réponses "gauche", ni entre les réponses correctes ou incorrectes. Le Tableau XVIII résume ces calculs.

TABLEAU XVIII :

Pourcentages de choix de chaque niveau de certitude par les sujets des différents âges.

GROUPE D'AGE	NOMBRE TOTAL DE REPOSES	NIVEAUX DE CERTITUDE					
		0	1	2	3	4	5
ADULTES							
1 + 2	2.470	25	23	16	11	8	17
ENFANTS							
12 ans	384	5	1	2	4	5	83
ENFANTS							
10 ans	1.094	6	2	3	4	10	75
ENFANTS							
8 ans	193	16	2	3	5	10	64

Il ressort assez clairement du Tableau XVIII que les adultes utilisent la gamme proposée des niveaux de certitude de façon beaucoup plus homogène que les enfants : les choix des adultes se distribuent en effet

¹ Nous rappelons ici que l'on avait décidé d'utiliser six niveaux de certitude conventionnellement définis : 0 = pas sûr du tout (de sa propre réponse); 1 = très peu sûr; 2 = peu sûr; 3 = assez sûr; 4 = presque sûr; 5 = absolument sûr.

assez régulièrement sur tous les niveaux, indiquant toutefois une légère préférence pour les niveaux bas alors que les choix des enfants portent électivement sur le degré de certitude le plus élevé.

Ces faits concordent avec ceux observés par CHATILLON et par FLAMAND dans leurs recherches utilisant cette même méthode.¹

Toutes marginales qu'elles soient par rapport au problème fondamental qui nous préoccupe, ces observations sont néanmoins utiles à signaler, car elles revêtent — entre autre — un intérêt méthodologique important en relation avec la procédure d'analyse statistique proposée par la Théorie de la Détection de Signaux. En effet, si l'on se souvient (cf. TROISIEME PARTIE, III, 2 et 3) que le couple de proportions de réponses associé à un niveau de certitude donné est représenté sur le graphique de probabilité par un et un seul point, on comprendra que sur un tel graphique figureront autant de points que de niveaux de certitude *utilisés* par le sujet. Ainsi, si un sujet utilise, pour ses réponses, les six niveaux de certitude qui lui sont proposés et de façon relativement homogène, la "R.O.C. Curve" qui résume sa production sera construite sur six points différents ; si, par contre, il n'utilise que quelques niveaux extrêmes de l'échelle de certitude, la "R.O.C. Curve" que l'on pourra construire sur ses réponses ne reposera que sur quelques points seulement.

Dans notre cas, cela signifie que les Courbes d'Efficacité du Récepteur ("R.O.C. Curves") relatives aux réponses des adultes sont construites, en général, sur plus de points différents que les Courbes relatives aux réponses des enfants. Cela signifie, par conséquent, que les "R.O.C. Curves" des adultes sont plus "stables", statistiquement parlant, que celles des enfants. Et, vu que dans notre procédure d'analyse, nous nous sommes servis de graphiques à axes normalisés, ce qui transforme les "R.O.C. Curves" en droites, la plus grande "instabilité" des courbes construites sur les réponses des enfants se traduit, dans nos graphiques, par une plus grande "instabilité" des *pentes* des droites correspondantes.

Mais cela n'est pas très grave pour nous puisque cette "instabilité" n'affecte que dans une mesure négligeable les indices Δ et que, de plus, nous avons, dès le départ, renoncé à utiliser l'information éventuelle qui pouvait être contenue dans les pentes des droites trouvées (cf. TROISIEME PARTIE, III, 3).

Mais du point de vue méthodologique général, il est important de tenir compte du phénomène que nous venons de signaler — et qui semble systématique — lorsque l'on veut utiliser les procédures suggérées par la Théorie de la Détection de Signaux dans des situations expérimentales qui impliquent des sujets de jeune âge : faute de quoi on risque de recueillir une masse de données qui ne peut pratiquement plus être analysée avec les procédures voulues. D'ailleurs, il serait souhaitable

¹ Communications personnelles.

qu'un certain nombre de recherches méthodologiques se fassent dans ce sens, car le nombre d'expériences utilisant les méthodes de la TDS et portant sur des sujets enfants est encore assez restreint.

7. Observations cliniques

En plus des mesures que nous avons relatées plus haut, nous avons pu recueillir au cours des passations un certain nombre d'observations qualitatives sur le comportement de nos sujets.

Une première observation d'ordre général, qui, en vérité, n'ajoute pas beaucoup aux données expérimentales mais qui a été pour nous une source constante de préoccupations, est que la tâche proposée s'est avérée assez pénible pour tous nos sujets. Cela nous a imposé des limites parfois gênantes dans nos expérimentations : nous avons dû fractionner les expériences en séances ne dépassant pas 40 à 60 minutes pour les sujets adultes, 30 à 40 minutes pour les enfants de 12 ans et 15 à 20 minutes pour les enfants de 8 et 10 ans; à l'intérieur d'une même séance, nous avons dû insérer des pauses brèves mais fréquentes; pour les sujets les plus jeunes, nous avons été obligés de changer souvent de fréquence moyenne de base pour éviter l'ennui provoqué par les fréquences les plus lentes ou la fatigue causée par les fréquences rapides. Ces difficultés nous ont surtout obligés à réduire considérablement le nombre total de réponses demandées aux enfants de 8 ans qui se sont montrés les plus intolérants; et enfin, elles nous ont dissuadés d'expérimenter, avec notre matériel, sur des sujets plus jeunes encore.

Dans le même ordre d'idées, on peut encore signaler — à titre anecdotique — que deux sujets adultes se sont plaints d'insomnies à la suite des séances comportant des fréquences rapides.

Une autre constatation générale, mais cette fois-ci plus intéressante par rapport aux résultats obtenus, a été la conviction explicitement exprimée par la plupart des sujets adultes et par quelques enfants, de répondre "n'importe quoi" lorsque les éclairs se succédaient aux fréquences moyennes de 100 et 200 éclairs par minute. Certains adultes en arrivaient même, au premier abord, à se refuser de répondre. Cette attitude est assez visible dans les choix des niveaux de certitude qui, aux fréquences élevées, se déplaçaient, chez les adultes surtout, vers les niveaux les plus bas de l'échelle.

Or il est intéressant de noter que, malgré leurs "déclarations d'impuissance", la majorité de nos sujets a obtenu, aux fréquences rapides, des indices de sensibilité tout à fait comparables à ceux obtenus aux fréquences lentes.

Mais le plus instructif a été d'interroger les sujets sur les méthodes qu'ils utilisaient pour donner leurs réponses.

A la fréquence moyenne de 10 éclairs par minute, la plupart des sujets, à l'exclusion de ceux de 8 ans, comptaient les éclairs apparus à

chaque lampe : certains sujets comptaient sur les doigts de la main gauche les éclairs de la lampe de gauche et sur les doigts de la main droite ceux de la lampe de droite; d'autres procédaient de façon analogue, mais intérieurement, sans le support matériel de leurs doigts; d'autres encore imaginaient assister à un match de football et comptaient les scores pour voir quelle lampe allait "gagner"; d'autres enfin comptaient les éclairs de chaque lampe en calculant au fur et à mesure la différence entre les deux totaux.

A 20 éclairs par minute, les adultes et les enfants de 12 ans utilisaient des méthodes analogues alors que les enfants plus jeunes, de 10 et 8 ans, abandonnaient toute technique de comptage : ils regardaient attentivement, sans autre, et se fiaient à une "impression" globale.

La fréquence moyenne de 50 éclairs par minute a souvent été, pour les adultes surtout, source de conflits : en effet, si au premier abord les sujets avaient l'impression de pouvoir compter les éclairs des deux lampes, assez rapidement ils devaient se rendre compte qu'une telle méthode était inapplicable. Mais, d'autre part, la succession des éclairs n'était pas suffisamment rapide pour rendre subjectivement acceptable l'attitude "rémissive" consistant à recueillir une simple "impression" du phénomène. Ainsi la plupart des sujets adultes ont oscillé entre ces deux modes d'observation, ne sachant pas ou ne voulant pas se décider pour l'un ou pour l'autre. En revanche, les enfants n'ont pas manifesté de telles inquiétudes, ayant vraisemblablement accepté plus volontiers, et dès le départ, une attitude plus "impressionniste".

Cette dernière attitude a été pratiquement la règle aux fréquences moyennes de 100 et 200 éclairs par minute : là, la succession des éclairs était si rapide que toute technique d'observation "intelligente" apparaissait d'emblée comme inadéquate. Les sujets, adultes et enfants, essayaient de se placer dans un état de "réceptivité" maximale et basaient leurs réponses sur une appréciation globale de densité, voire même de luminosité.

Mais quelle que soit la fréquence moyenne des éclairs ou le mode d'observation adopté, il est important de signaler que tous les sujets interrogés ont reconnu avoir procédé à une sorte d'appareillage entre les deux lampes : lorsque, au début de la période d'observation, l'une des lampes leur semblait s'allumer plus souvent que l'autre, ils regardaient si cette dernière arrivait à "rattraper" la première; s'ils jugeaient le "rattrapage" réalisé, ils observaient laquelle des deux allait à nouveau dépasser l'autre, comme s'il s'agissait en quelque sorte d'une nouvelle "phase compétitive", et cela jusqu'à un nouveau "rattrapage", et ainsi de suite. Ils construisaient donc une espèce d'appareillage continu, et successif, des deux lampes tout au long de chaque période d'observation.

Cinquième partie

INTERPRETATIONS ET CONCLUSIONS

I. INTERPRETATION DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

1. Indices de sensibilité et modèle piagétien

Le fait fondamental qui ressort de nos résultats expérimentaux est le phénomène du *minimum* des indices Δd , Δg et Δ moyen aux fréquences intermédiaires. On a vu (cf. QUATRIEME PARTIE) que ce fait se retrouvait avec une systématité surprenante dans les résultats des différents groupes d'âge et de chaque sujet pris individuellement. C'est donc à ce minimum qu'il s'agit, en premier lieu, de conférer une interprétation.

Il convient de rappeler brièvement une fois encore les considérations qui nous ont guidés dans notre travail :

- convaincus de la portée générale du modèle des mécanismes perceptifs proposé par PIAGET, nous voulions la démontrer expérimentalement, dans une situation concrète où tout aspect figural soit le plus possible réduit, pour mieux mettre en évidence les lois qui régissent le processus perceptif lui-même;
- nous avons alors décidé de construire une situation expérimentale qui simule le processus décrit par le modèle : aux "rencontres" qui, selon le modèle, s'effectuent au hasard entre les unités de l'objet perçu et les unités du sujet percevant, nous avons fait correspondre des éclairs lumineux brefs, se succédant aléatoirement dans le temps; aux "couplages" qui, selon le modèle, établissent une relation entre deux ensemble de "rencontres", nous avons fait correspondre la comparaison des éclairs apparaissant à l'une et à l'autre de nos deux lampes;
- si ces correspondances étaient vraisemblables, nous nous attendions à retrouver dans le "fonctionnement" de notre simulation les mêmes caractéristiques que celles attribuées par le modèle piagétien aux mécanismes perceptifs : et notamment la présence d'un maximum d'erreur en fonction du nombre de "rencontres", soit, pour nous, d'éclairs.

Or, il nous paraît en effet que les *minima* constatés dans nos indices Δ puissent être interprétés dans le sens proposé par le modèle.

Δ est une mesure de la sensibilité du sujet : c'est-à-dire une mesure du degré de précision de ses jugements discriminatifs. La précision du

jugement discriminatif “plus d'éclairs à droite ou à gauche” est fonction de l'exactitude des comparaisons faites entre les éclairs qui apparaissent à l'une et à l'autre des deux lampes. En langage piagétien, cela revient à dire que la précision du jugement discriminatif du type : “A plus grand que B” est fonction de l'aspect plus ou moins complet des “couplages” effectués entre les “rencontres” sur A et les “rencontres” sur B. Or, le modèle des “rencontres” et des “couplages” postule que ces derniers ont de fortes chances d'être complets à condition que les rencontres effectuées sur A et sur B soient en nombre restreint ou, au contraire, très nombreuses. Donc, dans notre situation, le jugement demandé aura de fortes chances d'être précis seulement dans les cas où les éclairs apparus aux deux lampes seront ou très peu nombreux ou très nombreux, et il sera moins précis lorsque le nombre d'éclairs sera intermédiaire.

En d'autres termes, l'indice de sensibilité Δ aura de fortes chances de prendre des valeurs élevées aux fréquences moyennes d'éclairs soit lentes soit rapides, et des valeurs basses aux fréquences moyennes d'éclairs intermédiaires. Or, cela est bien ce que nous constatons : les *minima* des indices Δ correspondent toujours à des fréquences intermédiaires.

Un petit problème subsiste : dans le modèle piagétien, le *maximum* d'erreur est fonction du *nombre* de “rencontres” ; dans notre situation, pouvons-nous également affirmer que le *minimum* de sensibilité est fonction du *nombre* d'éclairs ? Le doute est justifié, car dans notre situation expérimentale, nous trouvons chez plusieurs sujets des *minima* correspondant à une même fréquence moyenne (de 50 éclairs par minute dans la plupart des cas) alors que le nombre d'éclairs effectivement enregistré par les compteurs de l'appareil n'a pratiquement jamais été exactement le même pour tous les sujets, et, de plus, les périodes d'observations ont varié d'un sujet à l'autre, passant parfois du simple (15 secondes) au double (30 secondes) et faisant donc passer le nombre total d'éclairs perçus également du simple au double.

Si donc, la plupart de nos sujets ont donné un indice *minimum* à la même fréquence moyenne de 50 éclairs par minute, et cela malgré des variations importantes dans le nombre total d'éclairs observés, il est vraisemblable qu'ils n'ont pas basé leur jugement sur le nombre total d'éclairs perçus. Mais pouvons-nous alors affirmer qu'ils aient porté leur jugement sur la *fréquence* moyenne ? Si tel était le cas, l'adéquation de notre simulation au modèle piagétien se verrait affaiblie.

Or l'observation clinique du comportement des sujets suggère une explication qui nous paraît vraisemblable, en accord également avec les prémisses du modèle piagétien : lorsque nos sujets nous expliquent que, au cours de la période d'observation, ils essaient de “appareiller” les éclairs des deux lampes et qu'à chaque fois qu'ils estiment l'égalité atteinte, ils “recommencent à zéro” le processus, cela fait penser à une sorte d'échantillonnage séquentiel qui pourrait se dérouler comme suit :

on prélève un échantillon d'éclairs de la lampe de gauche et un échantillon de celle de droite; on les compare; si le nombre d'éclairs des deux échantillons est jugé équivalent, on procède sans autre à un nouvel échantillonnage et le processus continue; dans le cas contraire, on retient l'excédent d'éclairs qui a été perçu à droite ou à gauche, on le reporte sur le nouvel échantillonnage et ainsi de suite.

Ce processus, qui pourrait aussi se dérouler de façon tout à fait automatique au niveau des mécanismes perceptifs élémentaires, exige, pour des raisons d'économie évidentes, que le "empan" temporel — puisque tout le processus se déroule dans le temps — de chaque échantillon soit constant. Cela n'est pas un concept nouveau : MILLER (1956) l'avait déjà fait remarquer il y a quinze ans lorsqu'il rapportait une expérience de POLLACK où, en augmentant de 25 ms. à 5 sec. le temps de présentation tachistoscopique, l'information que le sujet pouvait traiter n'augmentait que de 2.5 à 3.0 bits environ.

Si donc, dans son processus d'échantillonnage séquentiel, le sujet prélève des échantillons à "empan" constant, ceux-ci contiendront un petit nombre d'éclairs lorsque la fréquence moyenne de leur apparition est lente et un grand nombre lorsque la fréquence moyenne est rapide : par exemple, à la fréquence moyenne de 10 éclairs par minute, chaque échantillon pourrait contenir deux ou trois éclairs alors qu'à la fréquence moyenne de 200 éclairs par minute, il pourrait en contenir 40 ou 50. Et lorsque le sujet compare l'échantillon prélevé à la lampe de gauche avec celui prélevé à la lampe de droite — i.e. lorsqu'il fait des "couplages" entre les deux échantillons de "rencontres" — la comparaison est donc relative au nombre d'éclairs contenus dans les deux échantillons et non pas au nombre total d'éclairs perçus tout au long de la période d'observation.

Il nous semble donc légitime d'admettre une parenté entre notre situation expérimentale et celle décrite par le modèle des "rencontres" et des "couplages": tout comme le *maximum* d'erreur postulé par le modèle piagétien dépend des "couplages incomplets" qui se manifestent lorsque le nombre des "rencontres" est intermédiaire, ainsi, dans notre situation, le *minimum* de sensibilité correspond à une fréquence moyenne d'éclairs intermédiaire, car c'est dans cette situation que les sujets opèrent des "couplages" entre des *nombre*s d'éclairs également intermédiaires. Dans ce sens, on peut affirmer que notre *minimum* de jugements corrects est bien fonction du *nombre* d'éclairs plutôt que de leur fréquence.

C'est d'ailleurs ces mêmes considérations qui nous ont poussés à utiliser comme variable indépendante la fréquence moyenne des éclairs et non pas la durée de la période d'observation, auquel cas le nombre d'éclairs sur lequel le sujet aurait fondé son jugement aurait forcément été constant — vu la constance de la fréquence moyenne — et nous n'aurions pu mettre en évidence aucun *minimum*.

Nous croyons ainsi pouvoir affirmer que notre situation expérimentale constitue une simulation du processus postulé par le modèle piagétien et que le phénomène du *minimum* de sensibilité présent dans nos résultats correspond au *maximum* d'erreur prédit par ce modèle, ce qui constitue donc une vérification de ce dernier.

2. Variations génétiques éventuelles

La grande majorité de nos sujets a fourni les indices de sensibilité les plus bas dans les situations où la fréquence moyenne des éclairs était de 50 par minute.

A cela font exception : le groupe des enfants de 8 ans qui a présenté un *minimum* à la fréquence moyenne de 20 éclairs par minute (cf. Tableau VII); les deux sujets du groupe "Adultes 2", qui ont, mais chacun individuellement et seulement pour Δ g, donné un *minimum* à la fréquence moyenne de 100 éclairs par minute (cf. Tableau X); et le sujet C du groupe des enfants de 10 ans qui a fourni des indices *minima* à cette même fréquence (cf. Tableau XIV).

Partant du fait que ce sont les sujets les plus jeunes qui ont donné un *minimum* anticipé à 20 éclairs par minute, et — dans deux cas sur trois — les sujets les plus âgés qui ont donné un *minimum* retardé à 100 éclairs par minute, on pourrait penser qu'il s'agit là d'une tendance d'ordre génétique susceptible de différencier les sujets âgés des plus jeunes.

L'hypothèse d'une vection d'ordre génétique nous semble difficile à soutenir à l'intérieur de nos propres résultats.

Avant tout, ce ne sont que 9 indices sur 53 qui présentent ces *minima* anticipés ou retardés, ce qui nous paraît bien maigre comme proportion.

En deuxième lieu, la tendance qui voudrait que les sujets âgés présentent un *minimum* à une fréquence moyenne d'éclairs plus élevée que les jeunes sujets nous semble passablement compromise d'une part, par la présence de ce *minimum* également retardé chez un sujet de 10 ans et, d'autre part, par le fait que les indices correspondant à la fréquence moyenne de 50 éclairs par minute données par les enfants de 8 ans ne sont pas supérieurs au *minimum* donné par les adultes à cette même fréquence alors qu'à la fréquence de 200 éclairs par minute les indices des enfants de 8 ans sont comparables à ceux des adultes et des sujets de 12 ans.

Il nous paraît donc beaucoup plus vraisemblable d'interpréter les quelques déviations observées dans nos résultats en termes de simple variabilité inter-individuelle, attribuable dans la plupart des cas à des degrés divers d'attention, de disponibilité, voire même d'habileté personnelle.

Cela n'exclut pas, bien entendu, qu'à des âges inférieurs on puisse assister à un déplacement systématique des indices *minima* vers les fréquences plus lentes ou plus élevées; mais, étant donné le caractère fortement automatisé du processus perceptif que notre tâche requiert, il faudrait descendre à des âges très jeunes, par exemple de 4-5 ans, comme cela a été fait par PIAGET & COLL. (cf. Tableau II), et probablement plus bas encore, pour pouvoir mettre en évidence de tels déplacements. Or, comme nous l'avons déjà fait remarquer plus haut (cf. QUATRIEME PARTIE, III, 7), notre situation expérimentale s'est avérée déjà assez difficile à supporter pour des enfants de 8 ans et nous croyons qu'elle soit pratiquement inapplicable à des enfants plus jeunes.

3. Interprétations alternatives

En dernière analyse, ce paragraphe devrait être laissé en blanc, à la disposition du lecteur : en effet, c'est bien lui qui est mieux à même d'envisager d'autres interprétations de nos données expérimentales, et non pas nous qui avons construit tout notre travail en fonction d'une problématique précise et qui, par conséquent, ne disposons pas du recul nécessaire.

Nous avons néanmoins voulu tenter de soumettre nos résultats expérimentaux à d'autres interprétations, ne serait-ce que parce qu'ils sont *trop* cohérents avec nos hypothèses de départ.¹

On pourrait tout d'abord vérifier si, dans les données objectives recueillies par les compteurs de l'appareil, on ne retrouve pas de phénomènes systématiques susceptibles de rendre compte des variations observées dans les indices subjectifs fournis par nos sujets.

Ce que l'on peut constater (cf. Tableaux IX, XI, XIII, XV et XVII) — et que nous avons déjà signalé lors de la présentation des résultats — est que les différences observées entre le nombre moyen d'éclairs apparus à la lampe de gauche et le nombre moyen d'éclairs apparus à la lampe de droite sont pratiquement équivalentes pour les différentes fréquences moyennes de base, avec une légère tendance à l'augmentation vers les fréquences moyennes plus rapides; quant aux écarts-types du nombre d'éclairs de chaque lampe et aux écarts-types des différences par conséquent, on constate qu'ils augmentent lorsque la fréquence moyenne augmente. Ces faits étaient d'ailleurs prévisibles puisque l'apparition de nos éclairs suit un Aléa de Poisson et que dans une telle distribution de probabilité la variance est identique à la moyenne.

Si ces facteurs étaient seuls responsables des variations des indices Δ , on aurait dû observer une augmentation régulière de ceux-ci : il est clair que l'augmentation des variances des nombres d'éclairs à la lampe de

¹ Car "quand une courbe expérimentale est trop jolie, cela ne fait pas sérieux...", comme dit souvent VINH-BANG dont la prodence est bien connue.

gauche et à celle de droite devrait faciliter la discrimination entre les deux. Or, si ces faits peuvent expliquer les valeurs élevées des indices Δ recueillis aux fréquences moyennes rapides, ils ne peuvent, par contre, rendre compte des valeurs tout aussi élevées — et dans la plupart des cas plus élevés — des Δ trouvés aux fréquences moyennes lentes.

Il nous semble donc bien difficile d'expliquer le phénomène du *minimum* de sensibilité observé aux fréquences intermédiaires par les variations objectives du nombre d'éclairs effectivement produits par les deux lampes.

On pourrait alors penser que nos sujets ne réfèrent peut-être pas leurs jugements au nombre d'éclairs perçus aux deux lampes, mais qu'ils utilisent d'autres sources d'informations telles que le "flicker" ou que la luminosité globale produite par les différents éclairs.

Il y a deux objections sérieuses à la première alternative : tout d'abord, nos éclairs ne se produisent pas à une cadence régulière mais apparaissent à des intervalles différents et distribués aléatoirement dans le temps : on voit mal comment, dans de telles conditions, une perception de "flicker" pourrait avoir lieu. Secondement, la gamme des fréquences moyennes que nous avons utilisée correspond — si l'on néglige l'aspect aléatoire du phénomène — à des valeurs allant de 0.17 cps. à 3.33 cps., valeurs qui sont bien au-dessous de la limite inférieure de 10 cps. qui, selon BROWN (in GRAHAM, 1965), constitue la fréquence la plus basse à laquelle on perçoit encore un papillotement, et au-delà de laquelle on ne perçoit plus que des événements isolés.

La seconde hypothèse est plus vraisemblable, mais les variations du seuil différentiel de luminosité, en fonction de celle-ci, ne semblent pas présenter des *maxima* correspondant à des luminosités intermédiaires, que ce soit dans la perspective photochimique de HECHT (1935), statistique de CROZIER (1940) ou quantique de MUELLER (1950). Le seuil différentiel de luminosité s'abaissant avec l'augmentation de celle-ci, on devrait donc assister, dans notre expérience, à une amélioration progressive des indices de sensibilité lorsqu'on passe d'une fréquence moyenne d'éclairs lente à une fréquence moyenne d'éclairs rapide. Mais, comme nous l'avons vu, cela ne correspond pas non plus à nos résultats.

D'une manière générale, il nous semble que la présence d'un *minimum* ou d'un *maximum* dans l'évolution d'un comportement quelconque soit bien difficile à expliquer si l'on veut absolument n'invoquer qu'un seul processus : de tels phénomènes sont vraisemblablement la résultante de deux processus antagonistes sous-jacents. C'est bien dans ce sens que nous avons interprété nos résultats, en accord avec le modèle piagétien qui suppose les deux mécanismes antagonistes des "rencontres" et des "couplages".

On pourrait donc se demander si d'autres mécanismes antagonistes pourraient rendre compte de nos résultats; mais là, nous avouons franchement notre embarras : la plupart des hypothèses alternatives nous

paraissent, en dernière analyse, se réduire aux processus fondamentaux décrits par PIAGET.

Par exemple, on pourrait imaginer que, aux fréquences moyennes d'éclairs lentes, les sujets donnent des réponses correctes parce qu'ils peuvent compter les éclairs qui apparaissent aux deux lampes; lorsque la fréquence moyenne d'éclairs augmente, il y a un moment où cette procédure s'avère inadéquate, et les sujets font donc beaucoup d'erreurs dans leurs jugements; en augmentant encore la fréquence moyenne des éclairs, il pourrait y avoir un nouveau processus qui "prendrait la relève" et assurerait, de façon perceptive et automatique, la comparaison correcte des nombres d'éclairs perçus aux deux lampes. Mais tout d'abord : quel serait ce second mécanisme ? Dire qu'il est "perceptif" et "automatique" non seulement n'explique en rien sa nature, mais ne le différencie pas nécessairement du premier : comment décider, par exemple, que le premier n'est pas "automatique", lui aussi ? En quoi peut consister la différence entre les deux, si tous deux reposent — en dernière analyse — sur des mises en relation ("des couplages", selon PIAGET) entre deux échantillons d'éclairs ? Et en allant jusqu'à admettre que l'on puisse les différencier, pourquoi seraient-ils nécessairement antagonistes ? Ne pourraient-ils pas se manifester conjointement, quand bien même à des niveaux différents, en "s'épaulant" l'un l'autre ?

Nous croyons avoir ainsi suffisamment démontré notre incapacité à nous décentrer de notre propre vision égocentrique. Il est donc préférable de laisser au jugement moins partial du lecteur la confrontation de nos résultats avec de nouvelles hypothèses.

II. CONCLUSIONS

Nous sommes partis de l'hypothèse suivante : si le modèle des mécanismes perceptifs proposé par PIAGET est construit sur l'idée fondamentale que les déformations systématiques que l'on constate dans les jugements perceptifs ne sont pas le seul résultat "d'agents déformants" contenus dans la réalité à percevoir, qui entraveraient un processus perceptif correct en soi, mais, bien au contraire, qu'elles sont produites par les caractéristiques propres du mécanisme perceptif lui-même, alors on devrait retrouver ces mêmes déformations dans n'importe quelle situation perceptive : non seulement lorsque l'objet à percevoir est une "illusion" optico-géométrique classique, mais aussi lorsqu'il est constitué par la figure la plus "neutre" possible; et, à la limite, non seulement lorsque l'objet à percevoir est une figure géométrique, mais aussi lorsque ses dimensions spatiales s'estompent, le réduisant à un objet temporel seulement.

Pour mieux définir les aspects du modèle piagétien, nous avons essayé de le reformuler en termes statistiques. Ce travail a pu mettre en

évidence deux faits importants : en premier lieu, les mécanismes postulés par le modèle produisent *nécessairement* un *maximum* de déformation à un moment donné du processus : cela est conforme à ce que PIAGET avait déjà supposé; en deuxième lieu, le moment auquel le *maximum* de déformation se manifeste, est *entièrement* déterminé par les valeurs qu'assument les probabilités de "rencontres" sur les différents éléments ou parties de l'objet : cela constitue une précision nouvelle et importante du modèle.

Dans le cas simple où il s'agit d'émettre un jugement différentiel entre deux stimuli A et B, le modèle des "rencontres" et des "couplages" prévoit que le jugement a de fortes chances d'être correct lorsque le nombre de "rencontres" sur A et sur B est soit petit soit grand, car c'est dans ces deux cas que les "couplages" entre "rencontres" ont le plus de chance d'être "complets"; pour un nombre de "rencontres" intermédiaire, les "couplages" ont une faible probabilité d'être "complets", et on voit donc se manifester à ce moment un *minimum* de jugements corrects. La formulation statistique précise, en outre, que ce *minimum* apparaît, au cours du processus, tardivement si les probabilités p_a et p_b de "rencontres" sur A et sur B sont faibles, plus précocement si ces probabilités sont élevées.

En cherchant donc à réaliser une situation expérimentale où toute dimension spatiale, tout facteur susceptible de provoquer des perturbations soit sinon absent, du moins le plus possible réduit ou neutralisé, afin de pouvoir tester notre hypothèse de départ, nous avons eu l'idée de créer une situation qui soit en même temps une "simulation" du processus décrit par le modèle : une situation qui oblige le sujet à effectuer des actions assimilables à celles que le modèle appelle "rencontres" et "couplages". Bien entendu, cela impliquait toute une série de transpositions plus ou moins hasardeuses, mais nous avons pensé que dans une expérience à caractère paradigmatique, elles pouvaient être tolérées.

Nous avons ainsi simulé des "rencontres" au moyen de brefs éclairs lumineux que deux petites lampes-néon émettaient de façon aléatoire dans le temps et que le sujet devait observer; la tâche du sujet était de juger si les éclairs étaient apparus le plus souvent à la lampe de gauche ou à celle de droite : pour en décider, il devait donc réaliser des "couplages" entre éclairs ou séries d'éclairs.

Dans ce contexte, notre hypothèse de départ prenait alors la forme suivante : en faisant varier la fréquence moyenne d'apparition des éclairs, et donc le nombre moyen d'éclairs entre lesquels le sujet réalisait ses "couplages", on devait assister à un *minimum* de jugements différentiels corrects lorsque les "couplages" s'effectuaient sur un nombre d'éclairs intermédiaire alors que ces jugements devenaient plus précis pour un nombre d'éclairs plus faible ou plus élevé.

En utilisant les méthodes d'expérimentation et d'analyse statistique des résultats proposées par la Théorie de la Détection de Signaux qui

s'accordaient particulièrement bien à notre situation, nous avons pu calculer des indices de "sensitivity" qui constituaient une mesure suffisamment précise et stable du degré de précision des jugements de nos sujets dont l'âge variait entre 8 ans et l'âge adulte.

Les indices trouvés ont montré de façon assez nette un *minimum* aux fréquences intermédiaires : la précision des jugements était significativement plus petite lorsque les éclairs apparaissaient à une fréquence moyenne de 50 par minute que lorsqu'ils apparaissaient plus fréquemment ou moins fréquemment, et cela pour presque tous nos sujets adultes et enfants, à l'exception des enfants de 8 ans qui ont donné des indices *minima* en correspondance avec la fréquence moyenne de 20 éclairs par minute.

Ces résultats nous ont semblé aller dans le sens de nos expectatives et confirmer ainsi l'hypothèse fondamentale que nous avons posée.

En effet, il nous paraît difficile d'expliquer la présence de ce *minimum* de sensibilité (ou *maximum* d'erreur) par des facteurs déformants systématiques qui seraient présents dans nos stimuli ou dans notre situation expérimentale : s'il a pu se manifester malgré la neutralité présumée de notre situation et malgré la constance relative des différences objectives entre le nombre d'éclairs de part et d'autre, alors il nous semble naturel d'admettre qu'il soit le résultat d'agents déformants inhérents au processus même de l'activité perceptive, comme le prédit le modèle des "rencontres" et des "couplages" de PIAGET.

Ce modèle, conçu primitivement pour tenter d'expliquer les déformations perceptives constatées expérimentalement dans les "illusions optico-géométriques" classiques et vérifié ensuite à maintes reprises sur des configurations originales, paraît donc s'appliquer à des situations où la dimension spatiale des stimuli est pratiquement éliminée et assume par là même une portée interprétative beaucoup plus générale.

À la lumière de nos résultats expérimentaux et de notre reformulation statistique, nous aimerions maintenant, en guise de conclusion, exquissier une ré-interprétation du modèle piagétien dans les termes suivants :

- Lorsque le sujet est appelé à formuler un jugement comparatif entre deux (ou plusieurs) événements, spatiaux ou temporels, il développe une double activité : d'une part, il prélève des "unités d'information" de chaque événement, et, d'autre part, — et simultanément — il procède à une mise en correspondance entre les "unités d'information" qu'il isole au fur et à mesure.
- Le prélèvement de ces "unités" se fait de façon analogue à un échantillonnage sans remplacement de sorte qu'il est possible de définir une probabilité p_1 que, à un moment donné k_j du processus, une "unité" soit effectivement prélevée de l'événement E_1 , et une probabilité p_2 que, au moment k_j , une "unité"

soit prélevée de E_2 ; on considérera, pour simplifier, p_1 et p_2 constantes à travers k et identiques pour toute "unité" de E_1 et de E_2 respectivement (sans que p_1 soit nécessairement égale à p_2).

- La mise en correspondance entre les "unités d'information" prélevées sur E_1 et sur E_2 risque évidemment de demeurer incomplète s'il y a de fortes inégalités entre le nombre "d'unités" recueillies sur chacun des événements; dans un tel cas, elle va donc affecter le jugement comparatif global et il y aura de fortes chances que celui-ci soit incorrect.
- Vu que l'accumulation des "unités d'information" suit une loi logarithmique, dans le cas où $p_1 = p_2$ il y aura nécessairement un moment dans le processus où la différence entre le nombre "d'unités" recueillies sur E_1 et le nombre "d'unités" recueillies sur E_2 sera maximale, donc où la mise en correspondance sera la plus incomplète et, par conséquent, où l'erreur du jugement sera maximale.
- Le moment k_m où ce *maximum* de différence (donc d'erreur) se manifeste est entièrement déterminé par les valeurs de p_1 et de p_2 : si elles sont élevées, le *maximum* sera très précoce; si elles sont faibles, il sera tardif (cf. Tableau I).
- Etant donc défini un laps de temps $k_t - k_0$ que le sujet se donne, ou qu'il est forcé de se donner, pour émettre son jugement, ce dernier aura de fortes chances d'être correct si les "unités d'information" sur lesquelles il se base ont des *probabilités de prélèvement* soit faibles soit élevées : car, en effet, dans le premier cas le *maximum* n'a pas encore pu se manifester et, dans le second cas, il s'est manifesté tout au début du processus et il a déjà été dépassé; la Figure 38 exprime graphiquement ce raisonnement.

Il nous paraît intéressant, pour terminer, de souligner qu'une telle interprétation permet d'établir une certaine continuité entre comportements à première vue dissemblables : si, par exemple, on admet que les probabilités de prélèvement des "unités d'information" qui interviennent dans le jugement perceptif d'une "illusion optico-géométrique" sont bien plus élevées que les probabilités intervenant dans notre situation expérimentale, on peut alors comprendre le fait que PIAGET et ses collaborateurs aient pu mettre en évidence des *maxima* temporels de l'ordre de quelques dixièmes de seconde alors que les nôtres sont 100 à 300 fois plus grands et couvrent des laps de temps plus étendus.

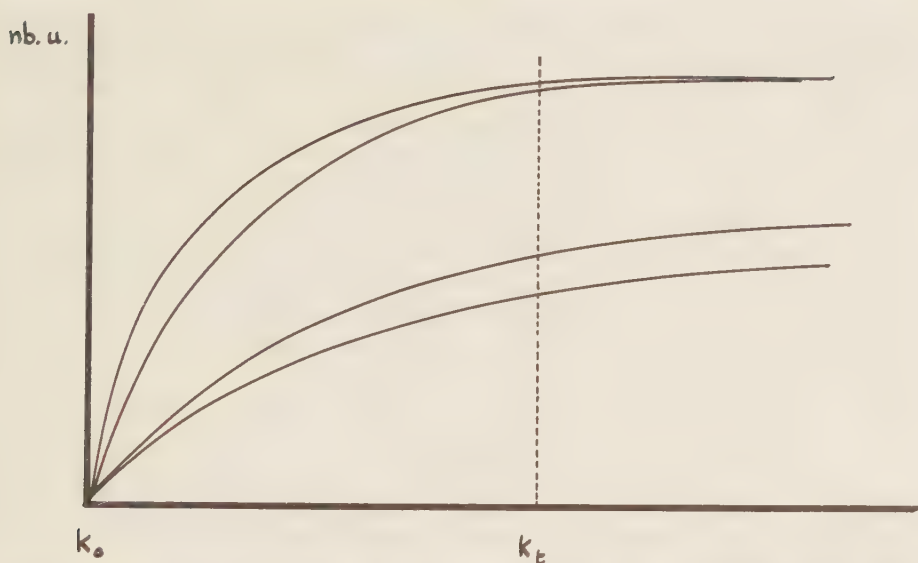


Figure 38: Le maximum apparaît après k_t si p_1 et p_2 sont faibles (courbes inférieures), avant k_t si p_1 et p_2 sont élevées (courbes supérieures).

BIBLIOGRAPHIE

Note :

La littérature sur la perception est tellement vaste qu'il est devenu aujourd'hui assez difficile de la parcourir sans s'y perdre. Ne serait-ce que pour éviter d'autres gaspillages de temps, nous aimerions suggérer ici une "piste" que nous croyons utile pour ceux qui s'intéressent aux théories plutôt qu'aux faits. Elle pourrait commencer par l'ouvrage classique de BORING (1942), puis — en s'appuyant également sur HERRNSTEIN & BORING (1965) — passer par GIBSON (1950), ALLPORT (1955), VERNON (1962) et éventuellement TAYLOR (1962); en se référant à GRAHAM (1965) et à HOWARD & TEMPLETON (1966) pour ce qui est des données expérimentales, elle pourrait continuer par GIBSON E.J. (1966), GIBSON J.J. (1966) et CHAPLIN & KRAWIEC (1968); puis, sans oublier les excellents "Penguins" de VERNON (1966) et de PRIBRAM (1969), elle pourrait retrouver VERNON (1970) pour une mise au point très actuelle et une bibliographie très riche; pour des développements insolites et "futuristes", elle pourrait s'aventurer également dans Mc CULLOCH (1965) ou dans MINSKY & PAPERT (1969), mais avec l'appui de LUCE, BUSH & GALANTER (1967). A partir de ce dernier manuel d'ailleurs, on peut s'orienter utilement vers GREEN & SWETS (1966). En dehors de la littérature anglo-saxonne, un ouvrage

classique, mais toujours actuel — à tel point qu'il a été récemment traduit, avec grand succès, en anglais — est celui de LE GRAND (1946-1956); de celui-ci, on peut passer tout de suite à FRAISSE & PIAGET (1963), d'où les rayonnements possibles sont très nombreux; un passage obligé est l'ouvrage capital de PIAGET (1961), puis on peut se référer à l'excellente mise au point de VURPILLOT (1963) et, si on lit l'allemand, également à celle de KLIX (1962); pour ce qui est du domaine particulier de la perception du temps, l'ouvrage de FRAISSE (1967) est fondamental. Enfin, il est utile de consulter régulièrement les différents numéros de *L'ANNEE PSYCHOLOGIQUE* qui contient de nombreuses revues critiques et des expériences originales.

REFERENCES

ALLPORT F.H. : *"Theories of perception and the concept of structure"*, N.Y., Wiley, 1955.

BEER S. : *"Decision and control"*, N.Y., Wiley, 1966.

BORING E.G. : *"Sensation and perception in the history of experimental psychology"*, N.Y., Appleton — Century — Crofts, 1942.

CHAPLIN J.P. et KRAWIEC T.S. : *"Systems and theories of psychology"*, N.Y., Holt, Rinehart & Winston, 1968.

CROZIER W.J. : "On the law for minimal discrimination of intensities", *Proc. Nat. Acad. Sciences*, 1940, 26, 382-389.

DROZ R.L. : "contribution à l'étude des dévaluations et sous-estimations d'excitants visuels en présentation tachistoscopique brève", *Arch. de Psych.*, 1965, 40, 158.

EDWARDS W. and TVERSKY A. : *"Decision making"*, Harmondsworth (GB), Penguins Books Ltd, PMP-UPS 8, 1967.

FELLER W. : *"An introduction to probability theory and its applications"*, N.Y., Wiley, 1968 (3rd Edition).

FRAISSE P. : *"Psychologie du temps"*, Paris, P.U.F., 1967.

FRAISSE P., EHRLICH S. et VURPILLOT E. : "Etudes de la centration perceptive par la méthode tachistoscopique", *Arch. de Psych.*, 1956, XXXV, 193-214.

FRAISSE P. et PIAGET J. : "*Traité de psychologie expérimentale*", vol. VI : "La perception", Paris, P.U.F., 1963.

GIBSON E.J. : "*Theories of perceptual development*", N.Y., Appleton, 1966.

GIBSON J.J. : "*The perception of the visual world*", Boston, Houghton Mifflin, 1950.

GIBSON J.J. : "*The senses considered as perceptual systems*", Boston, Houghton Mifflin, 1966.

GRAHAM C.H. (Ed.) : "*Vision and visual perception*", N.Y., Wiley, 1965.

GREEN D.M. and SWETS J.A. : "*Signal detection theory and psychophysics*", N.Y., Wiley, 1966.

GUILFORD J.P. : "*Psychometric Methods*", N.Y., McGraw-Hill, 1954.

HECHT S. : "A theory of visual intensity discrimination", *J. Gen. Physiol.*, 1935, 18, 767-789.

HELMHOLTZ von H.L.F. : "*Handbuch der physiologischen Optik*", vol. III, Leipzig, 1866 (traduction anglaise de SOUTHALL J.P.C. citée par HERRNSTEIN & BORING (1965), p. 151-163)).

HERRNSTEIN R.J. and BORING E.G. : "*A source book in the history of psychology*", Cambridge (Mass.), Harvard Univ. Press, 1965.

HOWARD I.P. and TEMPLETON W.B. : "*Human spatial orientation*", N.Y., Wiley, 1966.

KENDALL M.G. and STUART A. : "*The Advanced Theory of Statistics*", London, Ch. Griffin, 1963 (vol. I).

KLIX F. : "*Elementaranalysen zur Psychophysik der Raumwahrnehmung*", Berlin, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1962.

LE GRAND Y. : "*Optique physiologique*" (3 vol.), Paris, 1946, 1948 et 1956.

LUCE R.D., BUSH R.R. and GALANTER E. (Ed.) : "*Handbook of mathematical psychology*", (3 vol.), N.Y., Wiley, 1967 (2nd Edition).

McCULLOCH W.S. : *"Embodiments of mind"*, Cambridge (Mass.), M.I.T. Press, 1965.

MILLER G.A. : "The magical number seven, plus-or-minus two : some limits on our capacity for processing information", *Psychol. Review*, 1956, 63, 81-97.

MINSKY M. and PAPERT S. : *"Perceptrons"*, Cambridge (Mass.), M.I.T. Press, 1969.

MUELLER C.G. : "Quantum concepts in visual intensity discrimination", *Amer. J. Psychol.*, 1950, 63, 92-100.

MUNSON W.A. and KARLIN J.E. : "The measurement of the human channel transmission characteristics", *J. Acoust. Soc. Amer.*, 1954, XXVI, 542-553 (cité par GREEN & SWETS, 1966).

PETERSON W.W., BIRDSALL T.G. and FOX W.C. : "The theory of signal detectability", *Inst. Radio Engrs., Trans. Professional Group on Information Theory*, 1954, PGIT-4' 171-212 (cité par GREEN & SWETS, 1966).

PIAGET J. : "Essai d'une nouvelle interprétation probabiliste des effets de centration, de la loi de Weber et de celle des centrations relatives" (Rech. no. XXII), *Arch. de Psych.*, 1955, 35, 137, 1-24.

PIAGET J. : *"Les mécanismes perceptifs"*, Paris, P.U.F., 1961.

PIAGET J. : "Le développement des perceptions en fonction de l'âge", in : *Traité de psychologie expérimentale* de P. FRAISSE et J. PIAGET, Paris, P.U.F., 1963, VI, 1-57.

PIAGET J., LAMBERCIER M., BOESCH E. et von ALBERTINI B. : "Introduction à l'étude des perceptions chez l'enfant et analyse d'une illusion relative à la perception visuelle de cercles concentriques (Delboeuf)", *Arch. de Psych.*, 1942, 29, 1-107.

PIAGET J. et VINH-BANG : "L'évolution de l'illusion des espaces divisés (Oppel-Kundt) en présentation tachistoscopique", *Arch. de Psych.*, 1961, 38, 149.

PIAGET J. et VINH-BANG : "L'enregistrement des mouvements oculaires en jeu chez l'adulte dans la comparaison verticales, horizontales et obliques et dans les perceptions de la figure en équerre", *Arch. de Psych.*, 1961, 38, 150.

PIAGET J. et VINH-BANG : "Comparaison des mouvements oculaires et de centration du regard chez l'enfant et chez l'adulte", *Arch. de Psych.*, 1961, 38, 150.

PIAGET J., VINH-BANG and MATALON B. : "Note on the law of the temporal maximum of some optico-geometric illusions", *Amer. J. Psychol.*, 1958, LXXI, 277-282.

PRIBRAM K.H. (Ed.) : "*Perception and action*", Penguin Books, 1969.

QUENOUILLE M.H. : "*Rapid statistical calculations*", London, Griffin, 1959.

REY A. et RICHELLE M. : "Contribution à l'étude de l'effet de sous-estimation des données périphériques dans la centration du regard", *Arch. de Psych.*, 1955, XXXV, 25-40.

SMITH M. and WILSON E.A. : "A model for the auditory threshold and its application to the multiple observer", *Psychol. Monogr.*, 1953, LXVII, 9 (cité par GREEN & SWETS, 1966).

SWETS J.A. : "Detection theory and psychophysics : a review", *Psychometrika*, 1961, XXVI, 49-63.

SWETS J.A. : "*Signal detection and recognition by human observers*", N.Y., Wiley, 1964.

TANNER W.P. Jr. : "Physiological implications of psychophysical data", *Annals of the N.Y. Ac. of Sciences*, N.Y., 1961, LXXXIX, 752-765 (reprinted in SWETS, 1964).

TANNER W.P. Jr. and SWETS J.A. : "A decision-making theory of visual detection", *Psychol. Rev.*, 1954, LXI, 401-409 (cité par GREEN & SWETS, 1966).

TANNER W.P. Jr. and SWETS J.A. : "The human use of information, I : signal detection for the case of the signal known exactly", *Inst. Radio Engrs., Trans. Professional Group on Information theory*, 1954, PGIT-4, 213-221 (cité par GREEN & SWETS, 1966).

TAYLOR J.G. : "*The behavioral basis of perception*", New Haven and London, Yale Univ. Press, 1962.

VAN METER D. and MIDDLETON D. : "Modern statistical approaches to reception in communication theory", Inst. Radio Engrs., *Trans. Professional Group in Information Theory*, 1954, PGIT-4, 119-145 (cité par GREEN & SWETS, 1966).

VERNON M.D. : "*The psychology of perception*", Penguin Books, 1962.

VERNON M.D. (Ed.) : "*Experiments in visual perception*", Penguin Books, 1966.

VERNON M.D. : "*Perception through experience*", N.Y., Barnes & Noble, 1970.

VINH-BANG : "*L'étude des mouvements oculaires dans la perception de quelques illusions géométriques*", XVIème Congrès International de Psychologie, Bonn, 1960.

VURPILLOT E. : "La loi des centrations relatives de Piaget", *Bull. de Psychol.*, 1960, 13, 14-27.

VURPILLOT E. : "*L'organisation perceptive*", Paris, Vrin, 1963.

Appendice A

**EXEMPLE DETAILLE DE PROCEDURE
D'ANALYSE STATISTIQUE
ET EXEMPLE DE DEPOUILLEMENT "CLASSIQUE"**

I. EXEMPLE DE PROCEDURE D'ANALYSE

1. Enregistrement des données

Après chaque période d'observation, on enregistre :

- a — la réponse "Gauche" ou "Droite" suivie du niveau de certitude que le sujet a fournies soit verbalement soit par écrit;
- b — le nombre d'éclairs effectivement apparus à la lampe de gauche;
- c — le nombre d'éclairs effectivement apparus à la lampe de droite;
- d — la différence entre ces deux nombres.

Selon le mode de réponse choisi, verbal ou par écrit, la procédure d'enregistrement des réponses du sujet varie quelque peu : si le sujet donne sa réponse oralement, l'expérimentateur n'a qu'à inscrire "G" (= gauche) ou "D" (= droite), suivi d'un chiffre de zéro à 5 selon le degré de certitude choisi par le sujet; si par contre la réponse est donnée graphiquement, en plaçant un trait de crayon sur un segment de droite selon la procédure décrite à la page 45, il faudra alors dépouiller cette réponse graphique à l'aide d'un chablon de même longueur que le segment utilisé et comportant autant de divisions que le nombre total de niveaux de certitude pour les deux réponses "gauche" et "droite" (dans notre cas : 6 niveaux pour "gauche" + 6 niveaux pour "droite" = 12 divisions au total).

Quoi qu'il en soit, il est commode de prévoir une feuille standardisée pour l'enregistrement des données de l'expérience. En plus des renseignements anamnésiques sur le sujet et sur les conditions expérimentales, ce protocole devrait comporter, pour chaque période d'observation, les cinq données indiquées plus haut.

Il sera enfin utile de marquer d'un signe distinctif les périodes d'observation qui ont présenté le même nombre d'éclairs à gauche et à droite, car ces réponses devront être éliminées par la suite.

2. Analyse des résultats objectifs

Pour chacune des fréquences moyennes de base et pour chacun des sujets (ou groupes de sujets), on calcule :

- a — moyenne et écart-type du nombre d'éclairs apparus à la lampe de gauche;
- b — moyenne et écart-type du nombre d'éclairs apparus à la lampe de droite;
- c — moyenne et écart-type des différences entre ces deux nombres;
- d — valeur du "t" de Student pour échantillons appariés entre le nombre moyen d'éclairs apparus à la lampe de gauche et le nombre moyen d'éclairs apparus à la lampe de droite.

Ces données statistiques nous renseignent sur les différences objectives entre les deux distributions de fréquences présentées, et nous servirons par la suite comme terme de comparaison auquel pourront être référées les réponses subjectives fournies par les observateurs examinés.

3. Dépouillement des réponses

Pour chacune des fréquences moyennes de base, et pour chacun des sujets (ou groupes de sujets), on regroupe les réponses tout d'abord de la façon suivante :

- a — on compte combien de présentations "Droite" (c'est-à-dire combien de fois la lampe de droite a donné objectivement plus d'éclairs que celle de gauche) ont été associées par le sujet (ou par le groupe de sujets) à chacun des six niveaux de certitude;
- b — on procède à la même opération pour les présentations "Gauche".

Ces deux premières analyses ont pour but de contrôler si le sujet (ou les sujets) ont utilisé de façon relativement homogène tous les niveaux de certitude qu'ils avaient à disposition.

Dans le tableau A1 est reporté un exemple de ce dépouillement, effectué sur les réponses fournies par le groupe des "Adultes-1" à la fréquence moyenne de 100 impulsions par minute.

TABLEAU A 1 :

Distribution des réponses selon le type de présentation et le niveau de certitude (Adultes-1; 100 imp/min).

niveaux :	0	1	2	3	4	5	tot
prés. "D" :	34	47	45	20	13	2	161
prés. "G" :	23	37	34	29	12	4	139

Après ce dépouillement global, on passe aux réponses spécifiques en totalisant, pour chacun des six niveaux de certitude :

- c — le nombre de réponses “Droite” justes (D/d);
- d — le nombre de réponses “Droite” fausses (D/g);
- e — le nombre de réponses “Gauche” justes (G/g);
- f — le nombre de réponses “Gauche” fausses (G/d).

Un exemple de ce dépouillement est présenté dans le Tableau A2, construit sur les réponses fournies par le groupe “Adultes-1” à la fréquence moyenne de 100 impulsions par minute.

TABLEAU A 2 :

Distributions des différents types de réponses aux six niveaux de certitude (Adultes-1; 100 imp/min).

niveaux :	0	1	2	3	4	5	tot
D/d :	27	37	36	19	12	2	133
D/g :	6	5	1	0	1	0	13
G/g :	17	32	33	29	11	4	126
G/d :	7	10	9	1	1	0	28

4. Analyse des réponses “Droite”

Pour chacune des fréquences moyennes de base, et pour chacun des sujets (ou groupes de sujets), on analyse séparément les réponses “Droite” et les réponses “Gauche”.

Après avoir compté combien de réponses “Droite” justes (D/d) ont été associées à chacun des six niveaux de certitude (point c du paragraphe précédent), on procède de la façon suivante :

- a — on cumule les nombres de réponses D/d à chaque niveau de certitude, en partant du niveau le plus strict (5) vers le niveau le plus large (0);
- b — on transforme ces fréquences cumulées en proportions, par rapport au nombre total de présentations “droite”;
- c — à l’aide de la table de la Loi Normale Réduite, on transforme ces proportions cumulées en notes “z”.

Pour les réponses "Droite" fausses (D/g), la procédure est analogue : sur la base de la distribution de ces réponses à chaque niveau de certitude (point d du paragraphe précédent) :

- d — on cumule les nombres de réponses D/g à chaque niveau de certitude, en partant du niveau le plus strict (5) vers le niveau le plus large (0);
- e — on transforme ces fréquences cumulées en proportions, par rapport au nombre total de présentations "gauche";
- f — à l'aide de la table de la Loi Normale Réduite, on transforme ces proportions cumulées en notes "z".

Le tableau A3 donne un exemple de cette analyse, basée sur les réponses du groupe "Adultes-1" à la fréquence moyenne de 100 impulsions par minute.

TABLEAU A 3 :
Analyse des réponses "Droite" — (Adultes-1; 100 imp/min).

niveaux :	0	1	2	3	4	5
N (D/d) :	27	37	36	19	12	2
N (D/d) cum :	133	106	69	33	14	2
P (D/d) cum :	.83	.66	.43	.20	.09	.012
z (D/d) :	+0.95	+0.41	-0.18	-0.84	-1.34	-2.26
N (D/g) :	6	5	1	0	1	0
N (D/g) cum :	13	7	2	1	1	0
P (D/g) cum :	.09	.05	.014	.007	.007	.000
z (D/g) cum :	-1.34	-1.64	-2.20	-2.45	-2.45	-∞

5. Analyse des réponses "Gauche"

Pour chacune des fréquences moyennes de base, ainsi que pour chacun des sujets (ou groupes de sujets), l'analyse des réponses "Gauche" suit exactement le même schéma que celui présenté dans le paragraphe précédent.

Après avoir totalisé le nombre de réponses "Gauche" justes (G/g) qui ont été associées à chacun des six niveaux de certitude (point e du paragraphe 3), on continue l'analyse de la façon suivante :

- a — on cumule le nombre de réponses G/g à chaque niveau de certitude, en partant du niveau le plus strict (5) vers le niveau le plus large (0);
- b — on transforme les fréquences cumulées ainsi calculées en proportions, par rapport au nombre total de présentations “gauche”;
- c — en se référant à la table de la Loi Normale Réduite, on transforme ces proportions cumulées en notes “z”.

Pour les réponses “Gauche” fausses (G/d), après avoir relevé leur fréquence à chaque niveau de certitude (point f du paragraphe 3), on procède ainsi :

- d — on cumule les nombres de réponses G/d à chaque niveau de certitude, en partant du niveau le plus strict (5) vers le niveau le plus large (0);
- e — on transforme ces fréquences cumulées en proportions, par rapport au nombre total de présentations “droite”;
- f — avec l’aide de la table de la Loi Normale Réduite, on transforme les proportions cumulées ainsi calculées en notes “z”.

Un exemple de cette analyse est fourni par le tableau A4, construit sur les réponses fournies par le groupe des “Adultes-1” à la fréquence moyenne de base de 100 impulsions par minute.

TABLEAU A 4 :

Analyse des réponses “Gauche” — (Adultes-1; 100 imp/min).

niveaux :	0	1	2	3	4	5
N (G/g) :	17	32	33	29	11	4
N (G/g) cum :	126	109	77	44	15	4
P (G/g) cum :	.91	.78	.55	.32	.11	.03
z (G/g) :	+1.34	+0.77	+0.13	-0.47	-1.23	-1.88
N (G/d) :	7	10	9	1	1	0
N (G/d) cum :	28	21	11	2	1	0
P (G/d) cum :	.17	.13	.07	.012	.007	.000
z (G/d) :	-0.95	-1.13	-1.48	-2.26	-2.45	- ∞

6. Représentation graphique des réponses : construction des fonctions d'efficacité du récepteur

Pour chacune des fréquences moyennes de base, et pour chacun des sujets (ou groupes de sujets), l'on construit deux fonctions d'efficacité du récepteur (R.O.C. curves) : une relative aux réponses "Droite" et une autre relative aux réponses "Gauche", en se basant sur les données numériques calculées dans les deux paragraphes précédents.

La "R.O.C. curve" des réponses "Droite" est construite en représentant sur un graphique à axes normalisés chacun des six niveaux de certitude par un point ayant pour coordonnées :

— *abscisse* : la valeur " z " de la Loi Normale Réduite correspondante à la proportion cumulée, jusqu'au niveau de certitude en question, des réponses "Droite" fausses : $z(D/g)$ (cfr. Tableau A3);

— *ordonnée* : la valeur " z " de la Loi Normale Réduite correspondante à la proportion cumulée, jusqu'au niveau de certitude en question, des réponses "Droite" justes : $z(D/d)$ (cfr. Tableau A3).

La figure A-1 donne un exemple de cette construction, basée sur les réponses fournies par le groupe "Adultes-1" à la fréquence moyenne de base de 100 impulsions par minute, l'analyse numérique correspondante étant consignée dans le Tableau A3.

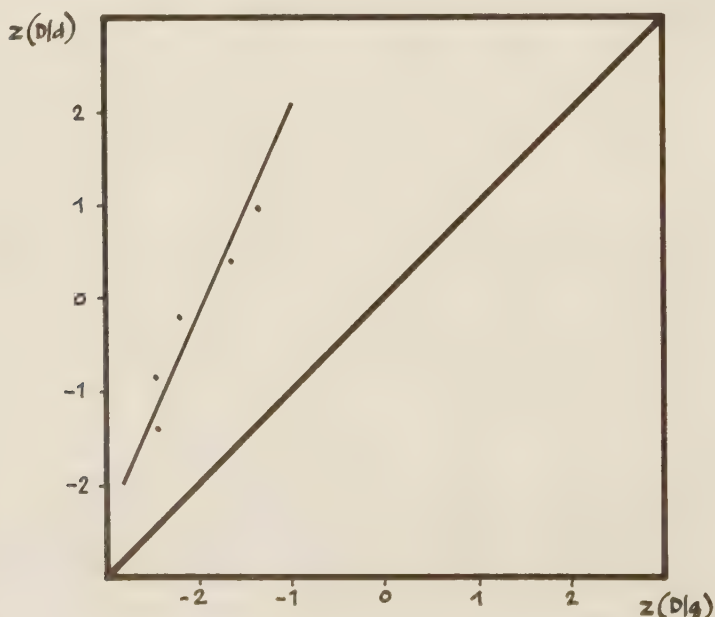


Figure A1 : "R.O.C. curve" pour les réponses "Droite", construite sur les données du Tableau A3 (Adultes-1; 100 imp/min).

La fonction d'efficacité pour les réponses "Gauche" est construite de façon analogue en représentant, sur le même graphique à axes normalisés, chacun des six niveaux de certitude par un point ayant pour coordonnées :

— *abscisse* : la valeur " z " de la Loi Normale Réduite correspondante à la proportion cumulée, jusqu'au niveau de certitude en question, des réponses "Gauche" fausses : $z(G/d)$ (cfr. Tableau A4);

— *ordonnée* : la valeur " z " de la Loi Normale Réduite correspondante à la proportion cumulée, jusqu'au niveau de certitude en question, des réponses "Gauche" justes : $z(G/g)$ (cfr. Tableau A4).

Un exemple de cette construction est présenté dans la Figure A2; les données numériques, déjà analysées dans le Tableau A4, sont relatives aux réponses fournies par le groupe "Adultes-1" à la fréquence moyenne de base de 100 impulsions par minute.

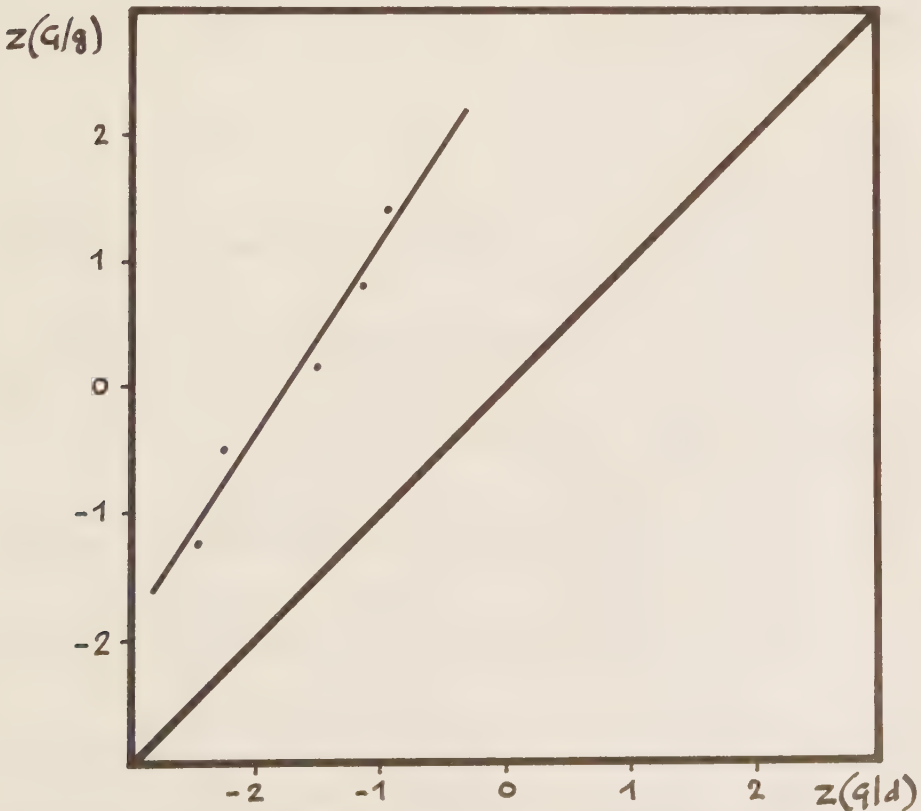


Figure A2 : "R.O.C. curve" pour les réponses "Gauche", construite sur le même graphique de la Figure A5 d'après les données du Tableau A4 (Adultes-1; 100 imp/min).

Comme il a été signalé plus haut (p. 64), il est très rare que les six points définissant chacune des "R.O.C. curves" se trouvent exactement alignés sur une droite : les exemples des Figures A1 et A2 le montrent assez clairement. Dans de tels cas la droite exprimant la fonction d'efficacité du récepteur doit être estimée à partir des points obtenus expérimentalement. La méthode d'estimation la plus simple, et néanmoins suffisamment précise, est suggérée par QUENOUILLE (1959, méthode No 33) : elle consiste à partager l'ensemble des points en deux groupes au moyen d'une droite verticale, puis à construire les points-médians des deux groupes ainsi déterminés et enfin à relier ces points-médians, en déplaçant éventuellement la droite obtenue dans la direction du point-médian général si celui-ci se trouve trop éloigné.

Dans les Figures A1 et A2 on notera que les deux axes du graphique ne contiennent pas les valeurs "z" supérieures à 3. En effet ces valeurs sont extrêmement rares, et d'autre part leur adjonction n'apporterait aucune précision supplémentaire. Ainsi, dans l'établissement des graphiques, on peut soit négliger les coordonnées dépassant cette limite, soit les assimiler à la valeur 3.

7. Calcul des indices Δd et Δg

Pour chacune des fréquences moyennes de base, et pour chacun des sujets (ou groupes de sujets), on calcule les deux indices de sensibilité discriminante Δd et Δg de la façon suivante :

- le long de la diagonale négative du graphique à axes normalisées, on mesure la distance entre la "R.O.C. curve" des réponses "Droite" et la diagonale positive du graphique, ainsi que la distance entre la "R.O.C. curve" des réponses "Gauche" et cette même diagonale positive;
- on projette obliquement chacune de ces deux distances sur l'abscisse supérieure du graphique, parallèlement à la diagonale positive;
- sur l'abscisse supérieure, qui comporte les mêmes divisions que l'abscisse inférieure du graphique, on lit directement les valeurs de Δd et Δg .

La Figure A3 donne un exemple de ce calcul, en se basant sur les réponses fournies par le groupe "Adultes-1" à la fréquence moyenne de base de 100 impulsions par minute. La Figure A4 donne enfin un exemple de protocole conclusif d'analyse, relatif à l'échantillon de réponses choisi.

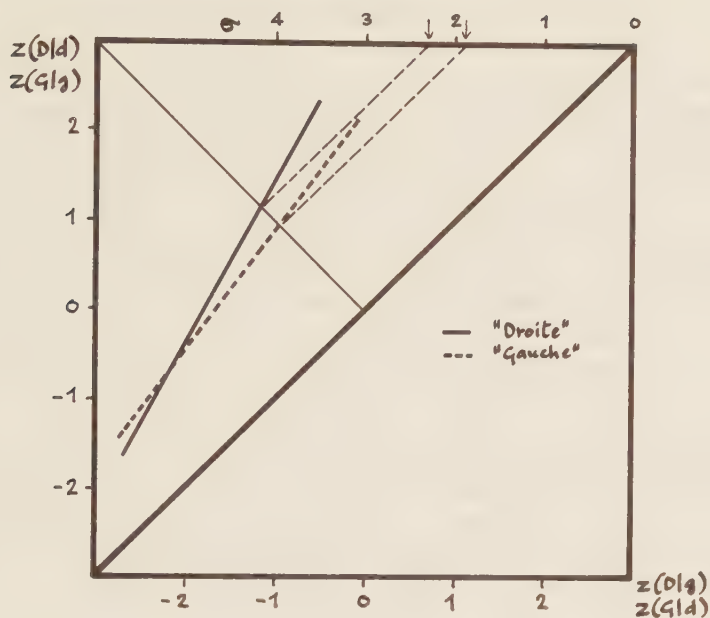
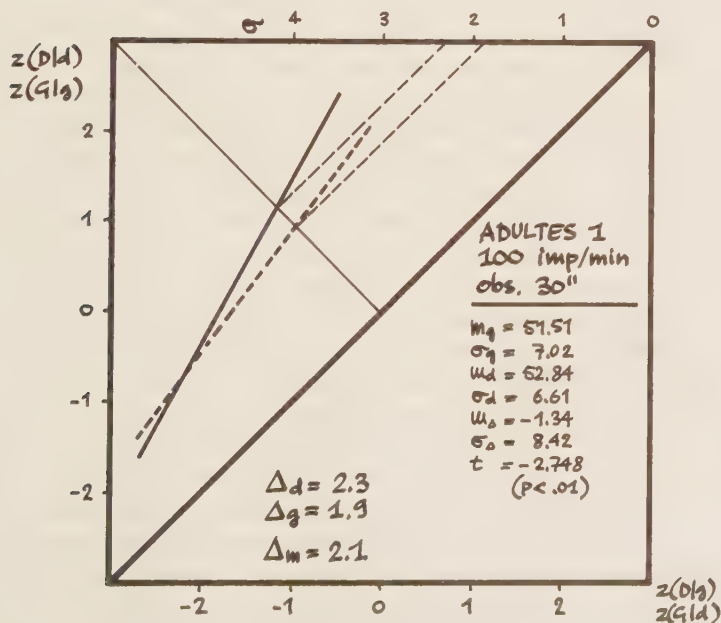
Figure A3 : Calcul de Δd et Δg . (Adultes-1; 100 imp/min).

Figure A4 : Protocole conclusif (Adultes-1; 100 imp/min).

II. EXEMPLE DE DEPOUILLEMENT "CLASSIQUE"

L'adoption pour ce travail de la technique de dépouillement et d'analyse de la Théorie de la Détection de Signaux a été justifiée à plusieurs reprises (cfr. notamment : Troisième Partie, chap. III).

En particulier, on a souligné que l'indice Δ résultant de cette analyse est indépendant des critères que le sujet peut se donner pour fournir sa réponse, et donc peu affecté par les différentes variables motivationnelles, affectives, etc. qui entrent inévitablement en jeu dans toute situation expérimentale. A ce point de vue, l'indice Δ devrait s'avérer beaucoup plus stable qu'une mesure de seuil différentiel obtenue selon la procédure traditionnelle (cfr. par exemple : GUILFORD, 1954, chap. 6).

A titre de démonstration, nous avons donc dépouillé de façon "classique" les réponses fournies par l'ensemble des sujets du groupe "Adultes-2" aux fréquences moyennes de 20 et de 200 impulsions par minute. Le choix de ces deux ensembles de données a été dicté par le fait que, avec la méthode d'analyse que nous avons adoptée, ils ont donné lieu à des indices Δ moyens pratiquement identiques, à savoir 1.2 pour 20 impulsions par minute et 1.3 pour 200 impulsions par minute (cfr. Quatrième Partie, chap. III, paragraphe 2).

Pour chacune de ces deux situations, nous avons dépouillé les données en totalisant le nombre de réponses "Gauche" et le nombre de réponses "Droite" (indépendamment des niveaux de certitude adoptés) que les sujets ont fourni pour chacune des valeurs que la différence entre les nombres d'éclairs apparus aux deux lampes a assumé lors de l'expérimentation. Ce dépouillement est résumé dans les Tableaux A-5 et A-6.

La simple lecture des Tableaux A-5 et A-6 montre assez clairement que l'omission des niveaux de certitude diminue la systématisme des résultats : les réponses "Gauche" et "Droite" s'alternent avec une grande variabilité sur des marges de différences assez importantes. A la fréquence moyenne de 20 imp./min. la zone de fluctuation s'étend d'une différence de -8 éclairs à une différence de +6 éclairs, et à 200 imp./min. la fluctuation des réponses couvre pratiquement toute la gamme des différences depuis -17 jusqu'à +19 éclairs.

En appliquant à ces données la méthode de sommation utilisée pour le calcul des moments d'une distribution (cfr. KENDALL & STUART, 1963, vol. I, ch. 3, et aussi GUILFORD, 1954, ch. 6) on peut obtenir les paramètres caractéristiques de ces distributions de réponses. Ainsi, à la fréquence moyenne de 20 imp./min., la moyenne des réponses "Gauche" se situe à la différence de -1.19 éclairs, avec un écart-type de 2.998 éclairs, alors que la moyenne des réponses "Droite" correspond à la différence de -3.19 éclairs, avec un écart-type de 4.196 éclairs. Pour ce qui est de la fréquence moyenne de 200 imp./min., la moyenne des réponses "Gauche" s'établit à la différence de +4.29 éclairs, avec un

TABLEAU A-5 :

Nombre absolu et relatif des réponses "Gauche" et "Droite" aux diverses valeurs de la différence objective entre le nombre d'éclairs apparus à la lampe de gauche et le nombre d'éclairs apparus à la lampe de droite ("Adultes-2"; 20 imp./min.).

différence (G-D)	nb. rép. G	nb. rép. D	tot. rép.	P (rép. G)	P (rép. D)
+6	4	0	4	1.00	0.00
+5	14	2	16	.88	.12
+4	8	0	8	1.00	0.00
+3	14	2	16	.88	.12
+2	10	2	12	.83	.17
+1	21	5	26	.81	.19
-1	14	4	18	.78	.22
-2	14	16	30	.47	.53
-3	10	10	20	.50	.50
-4	4	10	14	.29	.71
-5	0	10	10	0.00	1.00
-6	1	3	4	.25	.75
-7	0	0	0	0.00	0.00
-8	0	2	2	0.00	1.00

écart-type de 15.048 éclairs, alors que la moyenne des réponses "Droite" se situe à la différence de -5.71 éclairs, avec un écart-type de 14.989 éclairs.

Bien que cette procédure de calcul puisse être discutée — la progression des proportions n'étant pas monotone — il n'en reste pas moins que la zone d'indétermination s'avère bien plus importante à 200 imp./min. qu'à 20 imp./min., et par conséquent le seuil différentiel apparaîtrait, avec cette méthode de dépouillement, beaucoup plus grand à 200 imp./min. qu'à 20 imp./min. (en l'occurrence, un peu plus du double).

Alors que cette méthode "classique" tendrait donc à démontrer que le seuil différentiel augmente avec l'augmentation de la fréquence moyenne de base, nous avons vu que cette conclusion se trouve infirmée lorsque l'on tient compte des niveaux de certitude, comme dans la méthode de la Théorie de la Détection de Signaux que nous avons adoptée. Sur ces mêmes résultats en effet cette dernière méthode avait fourni des indices de sensibilité différentielle pratiquement identiques pour les deux fréquences en question.

TABLEAU A-6 :

Nombre absolu et relatif des réponses "Gauche" et "Droite" aux diverses valeurs de la différence objective entre le nombre d'éclairs apparus à la lampe de gauche et le nombre d'éclairs apparus à la lampe de droite ("Adultes-2"; 200 imp./min.).

différence (G-D)	nb. rép. G	nb. rép. D	tot. rép.	P (rép. G)	P (rép. D)
+19	1	1	2	.50	.50
+18	2	0	2	1.00	0.00
+17	0	0	0	0.00	0.00
+16	0	0	0	0.00	0.00
+15	0	0	0	0.00	0.00
+14	0	0	0	0.00	0.00
+13	1	1	2	.50	.50
+12	1	1	2	.50	.50
+11	4	0	4	1.00	0.00
+10	4	0	4	1.00	0.00,
+ 9	2	2	4	.50	.50
+ 8	2	0	2	1.00	0.00
+ 7	7	3	10	.70	.30
+ 6	3	3	6	.50	.50
+ 5	13	5	18	.72	.28
+ 4	19	5	24	.79	.21
+ 3	12	2	14	.86	.14
+ 2	12	2	14	.86	.14
+ 1	11	3	14	.79	.21
— 1	3	3	6	.50	.50
— 2	2	6	8	.25	.75
— 3	3	7	10	.30	.70
— 4	0	2	2	0.00	1.00
— 5	2	6	8	.25	.75
— 6	7	9	16	.44	.56
— 7	3	3	6	.50	.50
— 8	1	1	2	.50	.50
— 9	1	1	2	.50	.50
—10	0	2	2	0.00	1.00
—11	0	0	0	0.00	0.00
—12	0	0	0	0.00	0.00
—13	1	3	4	.25	.75
—14	0	0	0	0.00	0.00
—15	0	0	0	0.00	0.00
—16	0	0	0	0.00	0.00
—17	1	1	2	.50	.50

Appendice B

ETALONNAGES DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Dans cette Appendice nous avons recueilli l'ensemble des résultats de l'étalonnage du dispositif expérimental.

Les pages 127 à 131 contiennent les valeurs des fréquences moyennes d'impulsions par minute, obtenues aux diverses positions des filtres de chacun des 12 canaux de l'appareil. Les valeurs de la variance, de l'écart-type et du coefficient de variation correspondantes à chaque fréquence moyenne sont également fournies.

Les pages suivantes reproduisent en détail les distributions de fréquence du nombre d'éclairs enregistrés par minute, pour chaque canal et chaque position des filtres.

Les mesures ont été enregistrées au moyen d'un compteur électronique "Elesta", et tous les calculs ont été effectués par un ordinateur CDC-3800.

Pour chaque canal et chaque position des filtres ont été enregistrées 200 mesures.

CANAL No 1

Position du bouton-filtre	Fréquence moyenne	Variance	Ecart-type	Coeff. de variation
2.00	5.8	5.7	2.4	41.37
2.50	23.4	22.7	4.8	20.51
3.00	46.5	30.9	5.6	12.04
3.50	75.2	69.3	8.3	11.03
4.00	106.8	65.1	8.1	7.58
4.50	132.6	46.1	6.8	5.12
5.00	164.4	51.0	7.1	4.31

CANAL No 2

Position du bouton-filtre	Fréquence moyenne	Variance	Ecart-type	Coeff. de variation
2.50	5.1	4.9	2.2	43.13
3.00	16.4	15.6	3.9	23.78
3.50	34.9	24.4	4.9	14.04
4.00	59.3	82.6	9.1	15.34
4.50	87.0	66.8	8.2	9.42
5.00	119.7	65.1	8.1	6.76

CANAL No 3

Position du bouton-filtre	Fréquence moyenne	Variance	Ecart-type	Coeff. de variation
1.50	8.4	8.4	2.9	34.52
2.00	41.4	36.1	6.0	14.49
2.50	100.4	85.7	9.2	9.16
3.00	165.5	65.1	8.1	4.89
3.50	198.0	218.4	14.8	7.47
4.00	225.5	120.6	11.0	4.87
4.50	257.9	116.0	10.8	4.18
5.00	295.7	23.0	4.8	1.62

CANAL No 4

Position du bouton-filtre	Fréquence moyenne	Variance	Ecart-type	Coeff. de variation
2.00	11.5	10.4	3.2	27.82
2.50	33.5	51.2	7.1	21.19
3.00	72.5	63.5	8.0	11.03
3.50	110.2	49.2	7.0	6.35
4.00	150.1	60.0	7.7	5.12
4.50	174.6	39.6	6.3	3.60
5.00	212.0	62.1	7.9	3.72

CANAL No 5

Position du bouton-filtre	Fréquence moyenne	Variance	Ecart-type	Coeff. de variation
1.50	28.0	32.7	5.7	20.35
2.00	69.4	219.2	14.8	21.32
2.50	134.3	56.7	7.5	5.58
3.00	158.7	155.1	12.4	7.81
3.50	208.2	59.1	7.7	3.69
4.00	240.6	61.1	7.8	3.24
4.50	256.1	16.4	4.0	1.56
5.00	274.5	18.4	4.3	1.56

CANAL No 6

Position du bouton-filtre	Fréquence moyenne	Variance	Ecart-type	Coeff. de variation
2.00	25.9	40.7	6.4	24.71
2.50	58.8	46.9	6.8	11.56
3.00	115.9	72.2	8.5	7.33
3.50	159.9	87.4	9.3	5.81
4.00	197.8	56.3	7.5	3.79
4.50	237.6	43.3	6.6	2.77
5.00	270.2	33.3	5.8	2.14

CANAL No 7

Position du bouton-filtre	Fréquence moyenne	Variance	Ecart-type	Coeff. de variation
2.50	15.9	11.4	3.4	21.38
3.00	40.3	35.9	6.0	14.88
3.50	76.0	42.7	6.5	8.55
4.00	111.0	46.6	6.8	6.12
4.50	150.4	65.2	8.1	5.38
5.00	201.9	48.3	6.9	3.41

CANAL No 8

Position du bouton-filtre	Fréquence moyenne	Variance	Ecart-type	Coeff. de variation
2.50	10.7	10.4	3.2	29.90
3.00	41.8	84.8	9.2	22.00
3.50	108.5	114.4	10.7	9.86
4.00	145.7	214.2	14.6	10.02
4.50	220.4	124.8	11.2	5.08
5.00	260.9	59.4	7.7	2.95

CANAL No 9

Position du bouton-filtre	Fréquence moyenne	Variance	Ecart-type	Coeff. de variation
2.00	13.2	11.3	3.3	25.00
2.50	51.8	64.7	8.0	15.44
3.00	91.3	53.9	7.3	7.99
3.50	134.9	69.3	8.3	6.15
4.00	172.0	67.8	8.2	4.76
4.50	199.4	46.3	6.8	3.41
5.00	232.7	47.7	6.9	2.96

CANAL No 10

Position du bouton-filtre	Fréquence moyenne	Variance	Ecart-type	Coeff. de variation
2.00	13.1	11.7	3.4	25.95
2.50	60.5	44.0	6.6	10.90
3.00	92.0	122.5	11.1	12.06
3.50	131.8	56.5	7.5	5.69
4.00	172.0	54.4	7.4	4.30
4.50	202.0	62.0	7.9	3.91
5.00	231.5	49.0	7.0	3.02

CANAL No 11

Position du bouton-filtre	Fréquence moyenne	Variance	Ecart-type	Coeff. de variation
1.50	4.9	5.1	2.2	44.89
2.00	23.9	20.9	4.6	19.24
2.50	52.6	63.3	7.9	15.01
3.00	91.5	50.6	7.1	7.75
3.50	128.2	42.5	6.5	5.07
4.00	178.0	100.5	10.0	5.61
4.50	231.6	46.3	6.8	2.93
5.00	263.2	20.2	4.5	1.70

CANAL No 12

Position du bouton-filtre	Fréquence moyenne	Variance	Ecart-type	Coeff. de variation
2.00	24.1	19.5	4.4	18.25
2.50	63.7	44.9	6.7	10.51
3.00	105.6	54.2	7.4	7.00
3.50	154.1	58.8	7.7	4.99
4.00	200.5	46.1	6.8	3.39
4.50	237.1	34.5	5.9	2.48
5.00	266.2	30.9	5.6	2.10

CANAL 1 SET NO 20

3	1	***
15	2	+++++
18	3	+++++
27	4	+++++
26	5	+++++
36	6	+++++
30	7	+++++
20	8	+++++
10	9	+++++
8	10	+++++
4	11	***
3	12	***

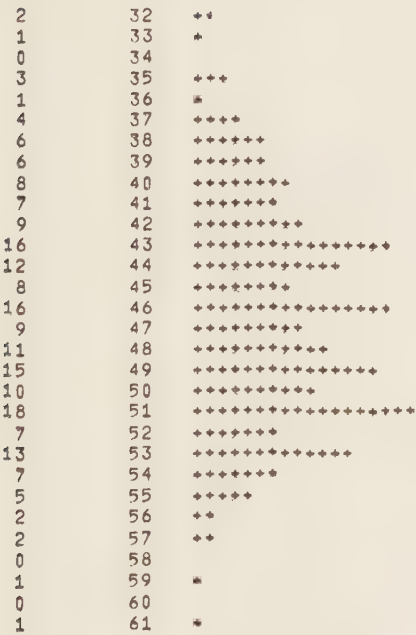
M = 5,805 SIGMA = 2,393 VARIANCE = 5,726

CANAL 1 SET NO 25

1	13	***
4	14	++++
1	15	***
4	16	++++
7	17	+++++
14	18	+++++
16	19	+++++
19	20	+++++
12	21	+++++
10	22	+++++
17	23	+++++
22	24	+++++
10	25	+++++
7	26	+++++
15	27	+++++
12	28	+++++
9	29	+++++
1	30	+
4	31	++++
7	32	+++++
4	33	++++
3	34	++++
1	35	***

M = 23,375 SIGMA = 4,761 VARIANCE = 22,668

CANAL 1 SET NO 30



M = 46,505 SIGMA = 5,563 VARIANCE = 30,945

CANAL 1 SET NO 35

1	51	*
1	52	*
0	53	
1	54	*
0	55	
1	56	*
1	57	*
0	58	
0	59	
1	60	*
3	61	***
3	62	***
1	63	*
3	64	***
6	65	***++
8	66	++++++
10	67	+++++++*
8	68	++++++
9	69	+++++++
3	70	***
8	71	+++++++
7	72	++++++
9	73	+++++++
6	74	+++++
11	75	+++++++
9	76	+++++++
11	77	+++++++*
4	78	****
12	79	+++++++*
12	80	+++++++*
4	81	****
6	82	+++++
4	83	****
7	84	+++++
7	85	+++++
3	86	***
5	87	++++
8	88	+++++
2	89	**
2	90	**
0	91	
1	92	*
1	93	*
0	94	
1	95	*

M = 75.160

SIGMA = 8.327

VARIANCE = 69.331

CANAL	1	SET NO	40
1	83	*	
0	84		
0	85		
1	86	*	
0	87		
1	88	*	
1	89	*	
0	90		
1	91	*	
2	92	**	
2	93	**	
3	94	***	
2	95	**	
5	96	****	
3	97	***	
5	98	****	
5	99	****	
4	100	****	
15	101	*****	
10	102	*****	
11	103	*****	
10	104	*****	
10	105	*****	
10	106	*****	
8	107	*****	
8	108	*****	
10	109	*****	
7	110	*****	
8	111	*****	
5	112	*****	
9	113	*****	
10	114	*****	
4	115	*****	
6	116	*****	
4	117	*****	
2	118	**	
5	119	*****	
0	120		
5	121	*****	
2	122	**	
2	123	**	
2	124	**	
0	125		
0	126		
0	127		
0	128		
0	129		
0	130		
0	131		
1	132	*	

CANAL 1 SET NO 45

1	111	+
0	112	
1	113	+
0	114	
0	115	
0	116	
2	117	++
2	118	++
2	119	++
1	120	+
1	121	+
5	122	++++
2	123	++
4	124	+++
5	125	++++
5	126	++++
11	127	+++++
11	128	+++++
7	129	+++++
13	130	+++++
12	131	+++++
14	132	+++++
11	133	+++++
11	134	+++++
9	135	+++++
15	136	+++++
8	137	+++++
5	138	++++
12	139	+++++
8	140	+++++
7	141	+++++
3	142	+++
3	143	+++
3	144	+++
1	145	+
2	146	++
0	147	
0	148	
1	149	+
0	150	
2	151	++

M = 132,630

SIGMA = 6,791

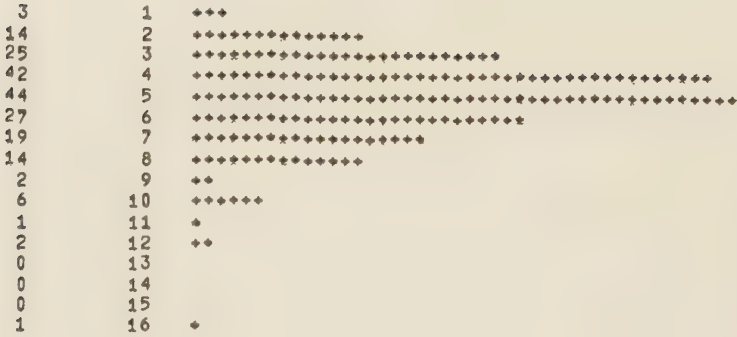
VARIANCE = 46,124

CANAL 1 SET NO 50

2	145	++
0	146	
0	147	
0	148	
2	149	++
1	150	+
2	151	++
2	152	++
5	153	+++++
3	154	+++
7	155	+++++++
6	156	++++++
2	157	++
12	158	+++++++
7	159	++++++
4	160	+++
10	161	+++++++
10	162	+++++++
12	163	+++++++
8	164	+++++++
13	165	+++++++
14	166	+++++++
11	167	+++++++
10	168	+++++++
12	169	+++++++
11	170	+++++++
5	171	+++++
4	172	+++
8	173	+++++++
4	174	+++
2	175	++
2	176	++
1	177	+
3	178	+++
1	179	+
1	180	+
1	181	+
0	182	
1	183	+
0	184	
1	185	+

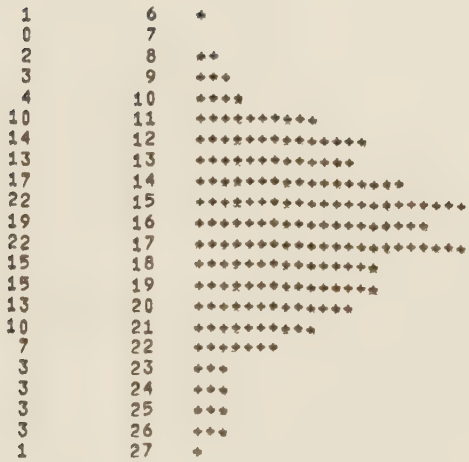
M = 164,405 SIGMA = 7,145 VARIANCE = 51,056

CANAL 2 SET NO 25



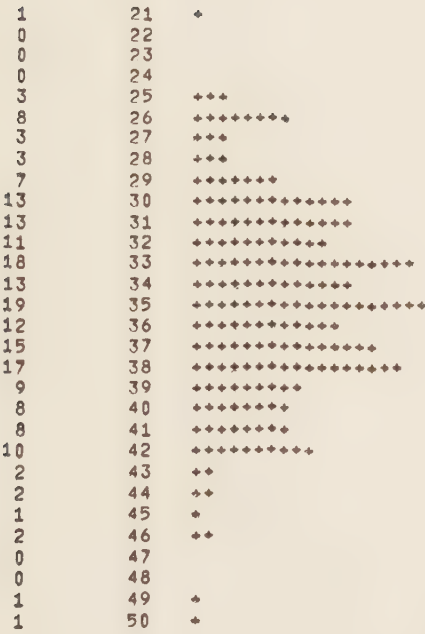
M = 5.150 SIGMA = 2.216 VARIANCE = 4.912

CANAL 2 SET NO 30



M = 16.410 SIGMA = 3.945 VARIANCE = 15.560

CANAL 2 SET NO 35



M = 34,900 SIGMA = 4,957 VARIANCE = 24,372

CANAL 2 SET NO 40

1	38	+
1	39	+
0	40	
1	41	+
3	42	+++
1	43	+
1	44	+
4	45	++++
3	46	+++
5	47	+++++
5	48	+++++
3	49	+++
7	50	+++++++
6	51	+++++
7	52	+++++
11	53	+++++++*
10	54	+++++++*
5	55	+++++
5	56	+++++
7	57	+++++
10	58	+++++++*
10	59	+++++++*
11	60	+++++++*
4	61	++++
6	62	+++++
4	63	+++
3	64	+++
8	65	+++++++*
7	66	+++++++
7	67	+++++++
6	68	+++++
11	69	+++++++*
5	70	+++++
3	71	+++
2	72	++
4	73	+++
1	74	+
4	75	+++
3	76	+++
3	77	+++
0	78	
2	79	++

M = 59,330

SIGMA = 9,090

VARIANCE = 82,624

CANAL 2 SET NO 45

1	64	*
0	65	
0	66	
0	67	
0	68	
1	69	*
1	70	*
1	71	*
1	72	*
2	73	++
2	74	++
2	75	++
8	76	++++++*
5	77	++++*
6	78	++++++
7	79	++++++
7	80	++++++
12	81	++++++++++*
9	82	++++++++*
7	83	++++++
10	84	++++++++++*
9	85	++++++++*
8	86	++++++++*
8	87	++++++++*
10	88	++++++++++*
7	89	++++++
7	90	++++++
7	91	++++++
7	92	++++++
6	93	++++*
8	94	++++++++*
5	95	++++*
11	96	++++++++++*
7	97	++++++
4	98	++++
1	99	*
2	100	++
0	101	
2	102	++
3	103	+++
3	104	+++
2	105	++
0	106	
1	107	*

M = 87,055 SIGMA = 8,173 VARIANCE = 66,806

CANAL 2 SET NO 50

1	97	*
1	98	*
2	99	**
0	100	
1	101	*
0	102	
0	103	
2	104	**
0	105	
1	106	*
1	107	*
2	108	**
3	109	***
3	110	***
12	111	*****
5	112	*****
10	113	*****
9	114	*****
5	115	*****
11	116	*****
11	117	*****
15	118	*****
6	119	*****
12	120	*****
8	121	*****
6	122	*****
11	123	*****
14	124	*****
5	125	*****
8	126	*****
3	127	***
6	128	*****
2	129	**
3	130	**
6	131	*****
2	132	**
2	133	**
1	134	*
2	135	**
2	136	**
3	137	***
2	138	**
0	139	
0	140	
0	141	
0	142	
1	143	*

M = 119.695

SIGMA = 8.068

VARIANCE = 65.087

CANAL 3 SET NO 15

1	1	*
4	2	++++
1	3	*
7	4	++++++
18	5	+++++++
19	6	+++++++
31	7	+++++++
29	8	+++++++
24	9	+++++++
20	10	+++++++
14	11	+++++++
14	12	+++++++
10	13	+++++++
3	14	+++
3	15	+++
1	16	*
1	17	*

M = 8.405 SIGMA = 2.897 VARIANCE = 8.393

CANAL 3 SET NO 20

1	28	*
4	29	++++
0	30	
4	31	++++
6	32	+++++
4	33	++++
4	34	++++
5	35	+++++
7	36	++++++
17	37	+++++++
16	38	+++++++
13	39	+++++++
15	40	+++++++
12	41	+++++++
9	42	+++++++
15	43	+++++++
12	44	+++++++
11	45	+++++++
4	46	++++
6	47	+++++
5	48	++++
8	49	++++++
5	50	+++++
7	51	++++++
3	52	+++
2	53	++
2	54	++
1	55	*
0	56	
0	57	
2	58	++

M = 41.415 SIGMA = 6.007 VARIANCE = 36.083

CANAL 3 SET NO 25

1	79	+
2	80	++
0	81	
1	82	+
2	83	++
0	84	
3	85	+++
0	86	
4	87	++++
5	88	+++++
4	89	++++
3	90	+++
12	91	+++++++
6	92	+++++
8	93	+++++++
7	94	+++++
9	95	+++++++
4	96	++++
5	97	++++
8	98	+++++++
5	99	++++
17	100	+++++++
7	101	+++++
5	102	++++
11	103	+++++++
11	104	+++++++
9	105	+++++
10	106	+++++++
1	107	+
2	108	++
2	109	++
3	110	+++
6	111	+++++
3	112	+++
4	113	++++
4	114	++++
4	115	++++
1	116	+
3	117	++
2	118	++
2	119	++
0	120	
1	121	+
0	122	
2	123	++
0	124	
0	125	
1	126	+

M = 100,395

SIGMA = 9,296

VARIANCE = 85,677

CANAL 3 SET NO 30

2	139	++
0	140	
0	141	
0	142	
2	143	++
0	144	
0	145	
0	146	
2	147	++
2	148	++
0	149	
1	150	+
2	151	++
0	152	
2	153	++
1	154	=
5	155	+++++
1	156	=
4	157	++++
4	158	++++
12	159	+++++
4	160	++++
8	161	+++++
14	162	+++++
8	163	+++++
14	164	+++++
11	165	+++++
12	166	+++++
17	167	+++++
4	168	++++
10	169	+++++
7	170	+++++
8	171	+++++
11	172	+++++
5	173	++++
7	174	++++
0	175	
2	176	++
2	177	++
4	178	++++
4	179	++++
1	180	+
3	181	++
1	182	+
1	183	+
0	184	
2	185	++

M = 165,470 SIGMA = 8,068 VARIANCE = 65,095

CANAL 3 SET NO 35

1	163	+
0	164	
0	165	
0	166	
2	167	++
0	168	
0	169	
0	170	
0	171	
1	172	+
1	173	+
2	174	++
1	175	+
3	176	+++
3	177	+++
5	178	+++++
5	179	+++++
6	180	+++++
5	181	+++++
6	182	+++++
5	183	+++++
2	184	++
3	185	+++
2	186	++
4	187	++++
7	188	++++++
3	189	+++
6	190	+++++
5	191	+++++
5	192	+++++
1	193	+
2	194	++
6	195	+++++
1	196	+
3	197	+++
4	198	+++
4	199	+++
3	200	+++
4	201	+++
5	202	++++
2	203	++
5	204	++++
6	205	+++++
2	206	++
3	207	+++
3	208	+++
5	209	++++
3	210	+++
3	211	+++
6	212	+++++
6	213	+++++
8	214	++++++
4	215	++++
7	216	+++++
2	217	++
6	218	+++++
3	219	+++
2	220	++
3	221	+++
2	222	++
1	223	+
0	224	
1	225	+

1 226 +

M = 197,985

SIGMA = 14,778

VARIANCE = 218,387

CANAL	3	SET NO	40
1	193	*	
2	194	**	
0	195		
0	196		
1	197	*	
0	198		
2	199	**	
1	200	*	
1	201	*	
1	202	*	
0	203		
1	204	*	
3	205	***	
2	206	**	
1	207	*	
2	208	**	
1	209	*	
3	210	***	
3	211	***	
2	212	**	
3	213	***	
4	214	****	
0	215		
1	216	*	
4	217	****	
1	218	*	
3	219	***	
3	220	***	
6	221	*****	
7	222	*****	
12	223	*****~	
11	224	*****	
7	225	*****	
9	226	*****	
9	227	*****	
8	228	*****	
4	229	****	
12	230	*****	
10	231	*****	
9	232	*****	
8	233	*****	
8	234	*****	
4	235	****	
2	236	**	
8	237	*****	
6	238	*****	
2	239	**	
1	240	*	
0	241		
1	242	*	
1	243	*	
2	244	**	
5	245	~****	
0	246		
0	247		
1	248	*	
0	249		
0	250		
1	251	*	

CANAL 3 SET NO 45

3	233	+++
0	234	
1	235	+
2	236	++
1	237	+
2	238	++
0	239	
2	240	++
2	241	++
3	242	+++
1	243	■
7	244	+++++++
1	245	■
6	246	++++++
5	247	+++++
4	248	++++
5	249	++++
2	250	++
10	251	++++++++
9	252	+++++++
6	253	+++++
6	254	+++++
7	255	+++++
6	256	+++++
8	257	++++++*
8	258	+++++++
7	259	+++++++
7	260	+++++++
3	261	+++
3	262	+++
8	263	+++++++
7	264	+++++++
7	265	+++++++
2	266	++
2	267	++
3	268	+++
6	269	+++++
5	270	+++++
6	271	+++++
7	272	+++++
4	273	++++
4	274	++++
5	275	++++
3	276	+++
3	277	+++
1	278	+

M = 257,925

SIGMA = 10,769

VARIANCE = 115,979

CANAL 3 SET NO 50

1	280	+
0	281	
0	282	
0	283	
0	284	
1	285	+
3	286	+++
2	287	++
6	288	+++++
12	289	+++++++
8	290	+++++++
9	291	+++++++
8	292	+++++++
10	293	+++++++
16	294	+++++++
15	295	+++++++
19	296	+++++++
20	297	+++++++
14	298	+++++++
11	299	+++++++
8	300	+++++++
15	301	+++++++
6	302	+++++
9	303	+++++
2	304	++
2	305	++
2	306	++
0	307	
1	308	=

M = 295,720 SIGMA = 4,794 VARIANCE = 22,987

CANAL 4 SET NO 20

1	3	+
0	4	
0	5	
6	6	+++++
15	7	+++++++
12	8	+++++++
23	9	+++++++
23	10	+++++++
29	11	+++++++
19	12	+++++++
23	13	+++++++
12	14	+++++++
10	15	+++++++
14	16	+++++++
5	17	+++++
2	18	++
3	19	++
3	20	++

M = 11,515 SIGMA = 3,222 VARIANCE = 10,382

CANAL 4 SET NO 25

1	16	*
1	17	+
1	18	+
1	19	+
3	20	+++
0	21	
1	22	*
5	23	++++
11	24	+++++++
6	25	+++++
7	26	+++++
1	27	+
7	28	+++++
14	29	+++++++
10	30	+++++++
14	31	+++++++
14	32	+++++++
6	33	+++++
10	34	+++++++
11	35	+++++++
6	36	+++++
8	37	+++++
10	38	+++++++
11	39	+++++++
7	40	+++++
10	41	+++++++
3	42	+++
3	43	+++
4	44	++++
1	45	*
0	46	
2	47	++
6	48	+++++
3	49	+++
0	50	
1	51	+

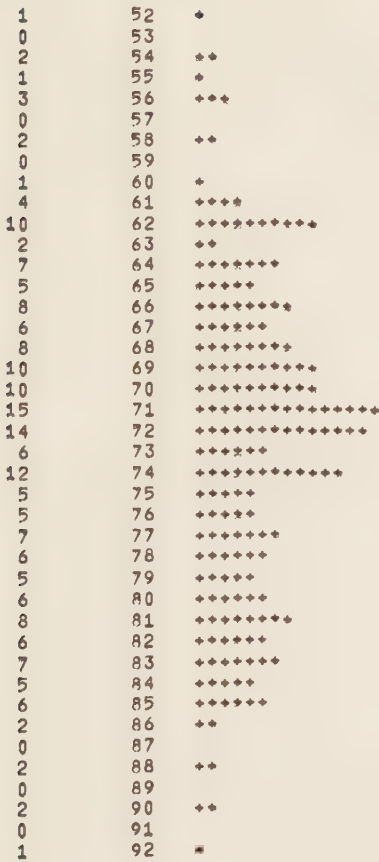
M = 33,487

SIGMA = 7,153

VARIANCE = 51,160

IL N'Y A PAS 200 DONNEES, MAIS 199 DONNEES

CANAL # SET NO 30



M = 72,465 SIGMA = 7,966 VARIANCE = 63,456

CANAL 4 SET NO 35

2	92	**
0	93	
2	94	**
2	95	**
1	96	*
1	97	*
3	98	***
5	99	*****
7	100	*****
3	101	***
5	102	*****
7	103	*****
4	104	***
7	105	*****
8	106	*****
6	107	*****
7	108	*****
12	109	*****
16	110	*****
12	111	*****
9	112	*****
11	113	*****
11	114	*****
9	115	*****
13	116	*****
11	117	*****
10	118	*****
4	119	***
4	120	***
2	121	**
2	122	**
0	123	
1	124	*
0	125	
1	126	*
1	127	*
0	128	
0	129	
0	130	
1	131	*

M = 110.200

SIGMA = 7.011

VARIANCE = 49.156

CANAL 4 SET NO 40

1	127	+
0	128	
0	129	
0	130	
0	131	
1	132	+
3	133	+++
0	134	
1	135	+
1	136	+
2	137	++
5	138	+++++
2	139	++
7	140	++++++
7	141	++++++
6	142	++++++
7	143	++++++
11	144	+++++++
3	145	+++
5	146	+++++
8	147	+++++++
6	148	++++++
9	149	+++++++
10	150	+++++++
17	151	+++++++
11	152	+++++++
14	153	+++++++
9	154	+++++++
4	155	++++
11	156	+++++++
12	157	+++++++
2	158	++
5	159	+++++
3	160	+++
2	161	++
4	162	++++
3	163	+++
2	164	++
2	165	++
2	166	++
0	167	
0	168	
0	169	
0	170	
1	171	+
1	172	+

M = 150,075 SIGMA = 7,747 VARIANCE = 60,009

CANAL 4 SET NO 45

2	159	++
1	160	*
1	161	*
0	162	
2	163	++
3	164	+++
9	165	+++++++
5	166	+++++
8	167	+++++++
7	168	+++++++
5	169	+++++
11	170	+++++++
7	171	+++++++
10	172	+++++++
10	173	+++++++
13	174	+++++++
21	175	+++++++
3	176	+++
14	177	+++++++
10	178	+++++++
15	179	+++++++
7	180	++++++
8	181	++++++
12	182	+++++++
2	183	++
5	184	+++++
4	185	++++
0	186	
0	187	
2	188	++
1	189	*
1	190	*
0	191	
0	192	
1	193	*

M = 174,600

SIGMA = 6,292

VARIANCE = 39,588

CANAL 4 SET NO 50

1	191	+
0	192	
2	193	++
0	194	
2	195	++
1	196	+
3	197	+++
2	198	++
3	199	+++
5	200	+++++
2	201	++
2	202	++
8	203	+++++++
5	204	+++++
3	205	+++
8	206	+++++++
7	207	+++++++
8	208	+++++++
13	209	+++++++
3	210	+++
11	211	+++++++
15	212	+++++++
7	213	+++++
13	214	+++++++
7	215	+++++
9	216	+++++++
8	217	+++++++
5	218	+++++
8	219	+++++++
9	220	+++++++
7	221	+++++
4	222	++++
4	223	+++*
4	224	++++
6	225	+++++
2	226	++
2	227	++
0	228	
1	229	*

M = 212,045

SIGMA = 7,882

VARIANCE = 62,134

CANAL 5 SET NO 15

1	12	+
1	13	+
0	14	
0	15	
3	16	+++
1	17	+
3	18	+++
2	19	++
4	20	++++
9	21	+++++++
3	22	+++
7	23	+++++
18	24	+++++++*++
13	25	+++++++
8	26	+++++
17	27	+++++++*++
18	28	+++++++
22	29	+++++++*++
12	30	+++++++
9	31	+++++
15	32	+++++++
8	33	+++++
4	34	+++
5	35	++++
5	36	++++
3	37	+++
0	38	
4	39	++++
1	40	=
1	41	+
1	42	+
0	43	
0	44	
0	45	
0	46	
1	47	+
0	48	
0	49	
0	50	
0	51	
0	52	
0	53	
1	54	+

M = 28,045

SIGMA = 5,716

VARIANCE = 32,676

CANAL 5 SET NO 20

1	45	+
1	46	+
0	47	
3	48	+++
2	49	++
0	50	
3	51	+++
6	52	+++++
3	53	+++
3	54	+++
7	55	+++++
3	56	+++
9	57	+++++
5	58	++++
12	59	+++++
8	60	+++++
10	61	+++++
6	62	+++++
8	63	+++++
7	64	+++++
10	65	+++++
3	66	+++
6	67	+++++
8	68	+++++
3	69	+++
4	70	+++
5	71	+++
1	72	+
0	73	
5	74	++++
1	75	+
5	76	+++
1	77	+
2	78	++
1	79	+
2	80	++
2	81	++
2	82	++
0	83	
1	84	+
1	85	+
1	86	+
2	87	++
1	88	+
4	89	+++
2	90	++
5	91	++++
1	92	+
2	93	++
7	94	+++++
1	95	+
3	96	+++
3	97	+++
0	98	
1	99	+
1	100	+
1	101	+
0	102	
0	103	
0	104	
4	105	++++
1	106	+

CANAL 5 SET NO 25

1	117	*
2	118	**
0	119	
2	120	**
3	121	***
7	122	+++++
3	123	***
6	124	+++++
2	125	**
6	126	+++++
7	127	+++++
3	128	***
9	129	+++++
10	130	+++++
5	131	++++
18	132	+++++
12	133	+++++
4	134	***
13	135	+++++
18	136	+++++
3	137	***
9	138	+++++
6	139	++++
8	140	+++++
7	141	+++++
5	142	++++
6	143	++++
8	144	+++++
3	145	***
4	146	***
2	147	**
3	148	***
1	149	*
1	150	*
0	151	
1	152	*
1	153	*
0	154	
1	155	*

M = 134,295

SIGMA = 7,529

VARIANCE = 56,681

CANAL 5 SET NO 30

1	132	+
0	133	
0	134	
1	135	+
0	136	
1	137	+
1	138	*
0	139	
1	140	*
3	141	+++
3	142	+++
0	143	
3	144	+++
1	145	*
9	146	+++++++
3	147	+++
4	148	+++++
6	149	+++++
8	150	+++++++
9	151	+++++++
10	152	+++++++
16	153	+++++++
9	154	+++++++
9	155	+++++++
8	156	+++++++
8	157	+++++++
11	158	+++++++
11	159	+++++++
0	160	
3	161	+++
10	162	+++++++
7	163	+++++
3	164	+++
1	165	*
1	166	+
1	167	*
2	168	++
1	169	+
0	170	
1	171	+
1	172	+
0	173	
1	174	+
1	175	+
3	176	+++
0	177	
3	178	+++
1	179	+
2	180	++
1	181	+
4	182	++++
2	183	++
4	184	++++
4	185	++++
1	186	+
2	187	++
1	188	+
1	189	+
1	190	+
0	191	
1	192	+

CANAL 5 SET NO 35

2	186	++
2	187	++
0	188	
1	189	+
0	190	
1	191	+
1	192	+
0	193	
2	194	++
3	195	+++
4	196	++++
1	197	+
7	198	++++++
4	199	++++
5	200	+++++
6	201	+++++
5	202	++++
3	203	+++
11	204	+++++++
11	205	+++++++
8	206	+++++++
5	207	+++++
9	208	+++++++
12	209	+++++++
11	210	+++++++
16	211	+++++++
10	212	+++++++
10	213	+++++++
7	214	+++++
8	215	+++++
7	216	+++++
7	217	+++++
9	218	+++++
4	219	++++
2	220	++
2	221	++
1	222	+
1	223	+
2	224	++

M = 208,195

SIGMA = 7,688

VARIANCE = 59,102

CANAL 5 SET NO 40

2	226	++
0	227	
3	228	+++
3	229	+++
4	230	++++
9	231	+++++++
9	232	+++++++
11	233	+++++++
13	234	+++++++
13	235	+++++++
7	236	+++++
11	237	+++++++
6	238	+++++
11	239	+++++++
6	240	+++++
11	241	+++++++
8	242	++++++
5	243	+++++
2	244	++
6	245	+++++
6	246	+++++
6	247	+++++
9	248	+++++++
5	249	+++++
4	250	++++
4	251	++++
10	252	+++++++
3	253	+++
1	254	+
7	255	++++++
3	256	+++
0	257	
2	258	++

M = 240,635 SIGMA = 7,820 VARIANCE = 61,148

CANAL 5 SET NO 45

1	242	+
0	243	
1	244	+
1	245	+
0	246	
0	247	
5	248	+++++
5	249	+++++
3	250	+++
7	251	++++++
12	252	+++++++
12	253	+++++++
18	254	+++++++
22	255	+++++++
21	256	+++++++
21	257	+++++++
17	258	+++++++
14	259	++++++
15	260	++++++
9	261	++++++
5	262	++++
5	263	++++
2	264	++
4	265	++++

M = 256,060 SIGMA = 4,047 VARIANCE = 16,378

CANAL 5 SET NO 50

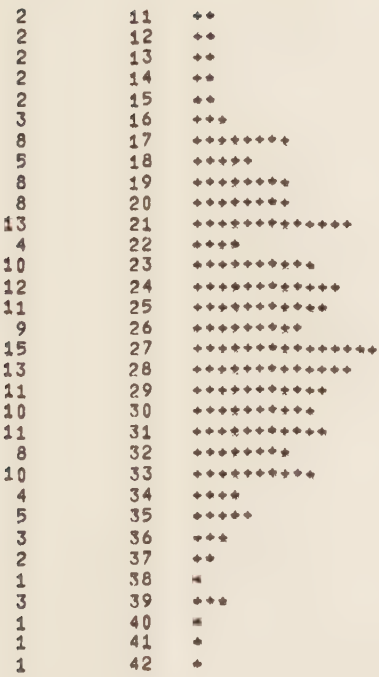
1	259	+
0	260	
2	261	++
0	262	
1	263	+
0	264	
0	265	
1	266	+
2	267	++
4	268	++++
4	269	++++
7	270	++++++
18	271	+++++++
21	272	+++++++
25	273	+++++++
18	274	+++++++
18	275	+++++++
17	276	+++++++
16	277	+++++++
9	278	+++++++
13	279	+++++++
11	280	+++++++
5	281	+++++
2	282	++
2	283	++
0	284	
0	285	
2	286	++
0	287	
0	288	
0	289	
0	290	
0	291	
1	292	+

M = 274,555

SIGMA = 4,285

VARIANCE = 18,359

CANAL 6 SET NO 20



M = 25,950 SIGMA = 6,382 VARIANCE = 40,731

CANAL 6 SET NO 25

3	36	+++
0	37	
0	38	
0	39	
0	40	
1	41	+
0	42	
0	43	
1	44	=
2	45	++
1	46	+
5	47	+++++
5	48	+++++
2	49	++
3	50	+++
6	51	+++++
2	52	++
9	53	+++++++
8	54	+++++++
3	55	+++
12	56	+++++++
13	57	+++++++
5	58	+++++
16	59	+++++++
11	60	+++++++
16	61	+++++++
16	62	+++++++
11	63	+++++++
9	64	+++++++
9	65	+++++++
12	66	+++++++
5	67	+++++
2	68	++
3	69	+++
2	70	++
2	71	++
1	72	+
3	73	+++

M = 58,834 SIGMA = 6,846 VARIANCE = 46,866

IL N'Y A PAS 200 DONNEES, MAIS 199 DONNEES

CANAL 5 SET NO 30

1	94	*
0	95	
0	96	
1	97	*
1	98	*
1	99	*
2	100	**
0	101	
4	102	++++
9	103	++++++**
4	104	++++
5	105	++++*
2	106	**
4	107	++++
3	108	***
9	109	++++++**
5	110	++++
10	111	++++++**
8	112	++++++
10	113	++++++**
8	114	++++++
12	115	++++++**
10	116	++++++**
6	117	++++*
11	118	++++++**
8	119	++++++
7	120	++++*
6	121	++++*
1	122	=
10	123	++++++**
6	124	++++*
1	125	*
7	126	++++*
7	127	++++*
8	128	++++**
1	129	=
6	130	++++*
4	131	++++
1	132	=
0	133	
0	134	
0	135	
0	136	
0	137	
1	138	*

M = 115,920

SIGMA = 8,496

VARIANCE = 72,174

CANAL 6 SET NO 35

1	137	+
0	138	
0	139	
1	140	+
2	141	++
1	142	+
2	143	++
6	144	+++++
3	145	+++
2	146	++
2	147	++
5	148	+++++
6	149	+++++
6	150	+++++
5	151	+++++
5	152	+++++
4	153	++++
3	154	+++
6	155	+++++
9	156	++++++
8	157	++++++
7	158	+++++
10	159	++++++
8	160	++++++
12	161	++++++
7	162	+++++
7	163	+++++
10	164	++++++
5	165	++++
9	166	++++++
7	167	+++++
9	168	++++++
3	169	+++
5	170	++++
3	171	+++
2	172	++
2	173	++
5	174	++++
3	175	+++
3	176	+++
0	177	
2	178	++
1	179	+
1	180	+
1	181	+
0	182	
0	183	
0	184	
0	185	
0	186	
0	187	
1	188	+

M = 159.875

SIGMA = 9.348

VARIANCE = 87.386

CANAL 6 SET NO 40

1	179	+
1	180	+
2	181	++
0	182	
1	183	+
2	184	++
1	185	+
3	186	+++
2	187	++
6	188	+++++
6	189	+++++
5	190	+++++
11	191	+++++++
12	192	+++++++
14	193	+++++++
5	194	+++++
5	195	+++++
8	196	++++++
15	197	+++++++
10	198	+++++++
9	199	++++++
10	200	++++++
10	201	++++++
8	202	++++++
6	203	+++++
10	204	++++++
9	205	++++++
4	206	++++
8	207	++++++
3	208	+++
1	209	+
2	210	++
2	211	++
1	212	+
2	213	++
2	214	++
1	215	+
0	216	
0	217	
0	218	
1	219	+
0	220	
1	221	+

M = 197,760

SIGMA = 7,501

VARIANCE = 56,264

CANAL 6 SET NO 45

2	222	++
4	223	++++
2	224	++
1	225	+
1	226	+
2	227	++
4	228	++++
8	229	+++++++
7	230	+++++++
8	231	+++++++
9	232	+++++++
10	233	+++++++
12	234	+++++++
5	235	++++
8	236	+++++
8	237	+++++
11	238	+++++++
7	239	+++++
19	240	+++++++
12	241	+++++++
10	242	+++++++
12	243	+++++++
9	244	+++++++
7	245	+++++
6	246	+++++
8	247	+++++
1	248	+
4	249	++++
0	250	
1	251	+
1	252	+
0	253	
1	254	+

M = 237,595

SIGMA = 6,582

VARIANCE = 43,318

CANAL 6 SET NO 50

1	253	+
0	254	
1	255	+
0	256	
0	257	
4	258	++++
3	259	+++
5	260	+++++
1	261	+
8	262	+++++++
2	263	++
10	264	++++++++
7	265	+++++++
2	266	++
9	267	+++++++
15	268	+++++++
16	269	+++++++
22	270	+++++++
20	271	+++++++
12	272	+++++++
4	273	++++
13	274	+++++++
5	275	++++
12	276	+++++++
5	277	++++
9	278	+++++++
5	279	++++
4	280	++++
3	281	+++
1	282	+
0	283	
0	284	
0	285	
1	286	+

M = 270,160

SIGMA = 5,768

VARIANCE = 33,271

CANAL 7 SET NO 25

1	7	*
1	8	*
2	9	++
8	10	++++++
9	11	++++++
16	12	++++++
15	13	++++++
11	14	++++++
25	15	++++++
20	16	++++++
29	17	++++++
21	18	++++++
16	19	++++++
9	20	++++++
8	21	++++++
5	22	++++
2	23	++
1	24	+
0	25	
0	26	
1	27	+

M = 15,890

SIGMA = 3,383

VARIANCE = 11,445

CANAL 7 SET NO 30

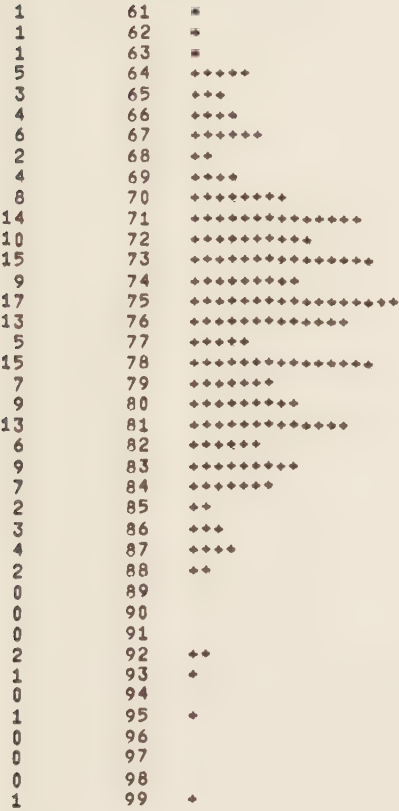
3	26	+++
0	27	
0	28	
0	29	
2	30	++
3	31	+++
8	32	++++++
12	33	++++++
9	34	++++++
11	35	++++++
11	36	++++++
16	37	++++++
7	38	++++++
11	39	++++++
9	40	++++++
14	41	++++++
13	42	++++++
11	43	++++++
7	44	++++++
13	45	++++++
9	46	++++++
9	47	++++++
4	48	++++
5	49	++++
1	50	+
6	51	++++++
3	52	+++
1	53	+
0	54	
0	55	
1	56	+
0	57	
0	58	
1	59	+

M = 40,285

SIGMA = 5,992

VARIANCE = 35,903

CANAL 7 SET NO 35



M = 76,040 SIGMA = 6,534 VARIANCE = 42,692

CANAL 7 SET NO 40

1	90	+
0	91	
0	92	
2	93	++
0	94	
0	95	
0	96	
1	97	+
0	98	
6	99	+++++
1	100	+
4	101	+++
6	102	+++++
6	103	+++++
6	104	+++++
9	105	++++++
11	106	+++++++
8	107	++++++
12	108	+++++++
8	109	++++++
11	110	+++++++
13	111	+++++++
9	112	++++++
12	113	+++++++
13	114	+++++++
9	115	++++++
14	116	+++++++
7	117	+++++
5	118	++++
5	119	++++
7	120	+++++
4	121	+++
2	122	++
1	123	+
0	124	
2	125	++
3	126	+++
0	127	
1	128	+
0	129	
1	130	+

M = 110,995

SIGMA = 6,824

VARIANCE = 46,568

CANAL 7 SET NO 45

1	129	+
0	130	
0	131	
1	132	+
0	133	
2	134	++
2	135	++
1	136	*
4	137	++++
3	138	+++
3	139	+++
8	140	+++++++
6	141	++++++
10	142	+++++++++
4	143	++++
4	144	++++
7	145	++++++
12	146	++++++++++
5	147	++++
7	148	++++++
9	149	++++++++
9	150	++++++++
7	151	++++++
8	152	++++++
10	153	++++++++
11	154	++++++++
12	155	+++++++++
11	156	++++++++
8	157	++++++
4	158	+++
5	159	++++
3	160	+++
4	161	+++
2	162	++
7	163	+++++
3	164	+++
2	165	++
1	166	+
2	167	++
0	168	
2	169	++

M = 150,410 SIGMA = 8,076 VARIANCE = 65,218

CANAL 7 SET NO 50

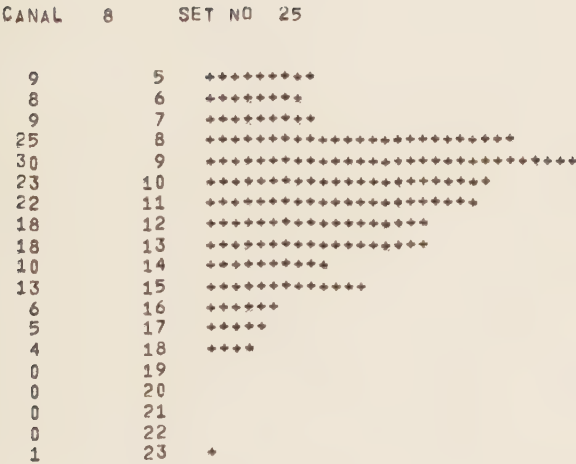
1	175	+
0	176	
0	177	
0	178	
0	179	
0	180	
0	181	
1	182	+
0	183	
1	184	+
0	185	
0	186	
1	187	+
1	188	+
0	189	
1	190	+
3	191	+++
6	192	+++++
6	193	+++++
4	194	++++
10	195	++++++++
5	196	+++++
14	197	++++++++
9	198	+++++++
9	199	+++++++
10	200	+++++++
12	201	+++++++
17	202	+++++++
11	203	+++++++
7	204	+++++++
3	205	+++
14	206	+++++++
5	207	+++++
15	208	+++++++
7	209	+++++++
5	210	+++++
6	211	+++++
5	212	+++++
2	213	++
2	214	++
1	215	+
0	216	
2	217	++
2	218	++
1	219	+

M = 201,930

SIGMA = 6,953

VARIANCE = 48,349

IL N'Y A PAS 200 DONNEES, MAIS 199 DONNEES



M = 10,741 SIGMA = 3,225 VARIANCE = 10,403

IL N'Y A PAS 200 DONNEES, MAIS 211 DONNEES

CANAL 8 SET NO 30

1	21	+
0	22	
1	23	+
1	24	+
2	25	++
4	26	+++
2	27	++
1	28	+
2	29	++
6	30	+++++
8	31	++++++
6	32	+++++
6	33	+++++
5	34	++++
9	35	++++++
4	36	+++
7	37	+++++
10	38	++++++
10	39	++++++
9	40	++++++
10	41	++++++
9	42	++++++
8	43	+++++
4	44	+++
8	45	++++++
4	46	+++
5	47	++++
5	48	++++
9	49	++++++
5	50	++++
6	51	+++++
5	52	++++
3	53	+++
4	54	+++
3	55	+++
4	56	++++
3	57	+++
2	58	++
1	59	+
3	60	+++
1	61	+
0	62	
0	63	
1	64	+
2	65	++

M = 41,844 SIGMA = 9,210 VARIANCE = 84,819

}L N°Y A PAS 200 DONNEES, MAIS 199 DONNEES

CANAL 8 SET NO 35

1	87	+
2	88	++
4	89	++++
3	90	+++
1	91	+
2	92	++
4	93	+++*
5	94	++++*
2	95	++
3	96	+++
3	97	+++
5	98	++++*
6	99	++++++
4	100	++++
4	101	++++
8	102	+++++++*
11	103	+++++++*
8	104	+++++++*
7	105	+++++++*
7	106	+++++++*
6	107	+++++++*
5	108	++++*
3	109	+++
14	110	+++++++*
7	111	+++++++*
5	112	++++*
7	113	+++++++*
8	114	+++++++*
11	115	+++++++*
4	116	++++*
1	117	+
4	118	++++
4	119	+++*
4	120	++++*
2	121	++
3	122	+++
2	123	++
1	124	+
5	125	++++*
3	126	+++
1	127	+
3	128	+++
1	129	+
0	130	
0	131	
0	132	
0	133	
2	134	++
1	135	+
0	136	
1	137	+
0	138	
0	139	
1	140	+

M = 108,467

SIGMA = 10,696

VARIANCE = 114,402

CANAL 8 SET NO 40

```

1      110  +
0      111
0      112
0      113
0      114
0      115
0      116
1      117  +
0      118
0      119
2      120  ++
2      121  ++
0      122
3      123  +++
0      124
1      125  +
1      126  +
1      127  +
8      128  ++++++
2      129  ++
3      130  +++
2      131  ++
6      132  +++++
11     133  ++++++++
6      134  +++++
7      135  +++++
10     136  ++++++
6      137  +++++
6      138  +++++
4      139  +++
6      140  +++++
1      141  +
6      142  +++++
3      143  ++
3      144  ++
7      145  +++++
9      146  ++++++
2      147  ++
1      148  +
0      149
4      150  +++
6      151  +++++
4      152  +++
2      153  ++
4      154  +++
3      155  ++
1      156  +
6      157  +++++
3      158  ++
3      159  ++
3      160  ++
5      161  +++++
5      162  +++++
1      163  +
5      164  +++++
3      165  ++
0      166
0      167
6      168  +++++
5      169  +++++
0      170
1      171  +
1      172  +

```

```

2      173  ++
1      174  +
0      175
0      176
0      177
1      178  +
0      179
1      180  +
2      181  +
0      182
0      183
0      184
0      185
0      186
0      187
0      188
0      189
0      190
0      191
1      192  +

```

M = 145,784 SIGMA = 14,637 VARIANCE = 214,280

CANAL 8 SET NO 45

1	187	+
0	188	
0	189	
0	190	
1	191	+
2	192	++
1	193	+
0	194	
1	195	+
0	196	
0	197	
2	198	++
0	199	
2	200	++
2	201	++
4	202	++++
3	203	+++
1	204	+
2	205	++
2	206	++
4	207	++++
1	208	+
2	209	++
3	210	+++
4	211	++++
3	212	+++
4	213	++++
9	214	+++++++
5	215	+++++
5	216	+++++
7	217	++++++
11	218	+++++++
7	219	++++++
10	220	+++++++
4	221	++++
7	222	++++++
10	223	+++++++
10	224	+++++++
5	225	+++++
4	226	++++
6	227	+++++
4	228	++++
4	229	++++
6	230	+++++
6	231	+++++
3	232	+++
3	233	+++
7	234	++++++
4	235	++++
5	236	++++
5	237	++++
5	238	++++
0	239	
2	240	++
1	241	+

M = 220,400 SIGMA = 11,172 VARIANCE = 124,804

CANAL B SET NO 50

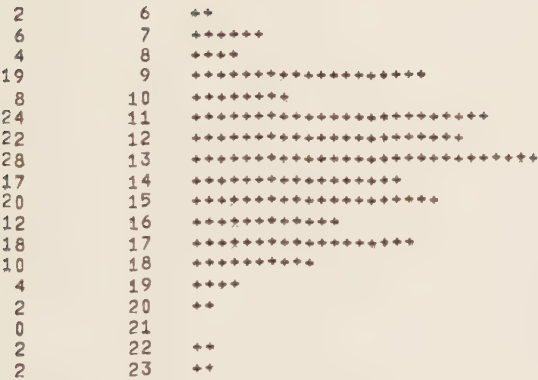
1	236	+
0	237	
0	238	
1	239	+
0	240	
0	241	
0	242	
2	243	++
0	244	
2	245	++
1	246	+
2	247	++
4	248	++++
4	249	++++
2	250	++
6	251	++++++
1	252	=
6	253	++++++
7	254	++++++
7	255	++++++
8	256	++++++
10	257	++++++
4	258	++++
15	259	++++++
10	260	++++++
9	261	++++++
11	262	++++++
10	263	++++++
7	264	++++++
11	265	++++++
12	266	++++++
10	267	++++++
7	268	++++++
5	269	++++
4	270	++++
4	271	++++
5	272	++++
4	273	++++
4	274	++++
3	275	+++
0	276	
0	277	
0	278	
0	279	
0	280	
0	281	
0	282	
0	283	
1	284	+

M = 260,905

SIGMA = 7,705

VARIANCE = 59,373

CANAL 9 SET NO 20



M = 13,255 SIGMA = 3,357 VARIANCE = 11,266

CANAL 9 SET NO 25

2	28	++
0	29	
3	30	+++
1	31	+
1	32	*
2	33	++
1	34	+
3	35	+++
3	36	+++
1	37	+
1	38	+
0	39	
3	40	+++
1	41	+
2	42	++
2	43	++
4	44	++++
5	45	+++++
4	46	++++
5	47	+++++
6	48	+++++
6	49	+++++
14	50	+++++++
10	51	+++++++
14	52	+++++++
15	53	+++++++
14	54	+++++++
12	55	+++++++
9	56	++++++
14	57	+++++++
8	58	++++++
11	59	++++++
6	60	+++++
1	61	=
4	62	++++
5	63	++++
3	64	+++
1	65	*
2	66	++
0	67	
1	68	*
1	69	+

M = 51.761

SIGMA = 8.045

VARIANCE = 64.723

IL N°Y A PAS 200 DONNEES, MAIS 211 DONNEES

CANAL	9	SET NO	30
1	69	*	
0	70		
0	71		
0	72		
0	73		
0	74		
2	75	++	
1	76	*	
1	77	*	
0	78		
3	79	+++	
3	80	+++	
5	81	+++++	
11	82	+++++++	
2	83	++	
6	84	+++++	
14	85	+++++++	
10	86	+++++++	
7	87	++++++	
10	88	+++++++	
6	89	+++++	
3	90	+++	
9	91	++++++	
12	92	+++++++	
17	93	+++++++	
7	94	+++++	
17	95	+++++++	
5	96	++++	
7	97	+++++	
4	98	+++	
6	99	++++	
8	100	+++++	
7	101	+++++	
6	102	++++	
2	103	++	
2	104	++	
0	105		
2	106	++	
1	107	*	
1	108	*	
1	109	*	
1	110	*	

M = 91.350 SIGMA = 7.345 VARIANCE = 53.947

CANAL 9 SET NO 35

1	115	+
2	116	++
1	117	+
1	118	+
3	119	+++
0	120	
4	121	++++
5	122	+++++
4	123	++++
5	124	+++++
1	125	+
7	126	+++++++
8	127	+++++++
5	128	+++++
5	129	+++++
6	130	+++++
9	131	+++++++
6	132	+++++
9	133	+++++++
6	134	+++++
12	135	+++++++
9	136	+++++++
7	137	+++++
12	138	+++++++
6	139	+++++
13	140	+++++++
15	141	+++++++
5	142	+++++
6	143	+++++
5	144	+++++
2	145	++
4	146	++++
3	147	+++
2	148	++
1	149	+
3	150	+++
1	151	+
1	152	+
2	153	++
1	154	+
1	155	+

M = 134,920

SIGMA = 8,326

VARIANCE = 69,317

IL N'Y A PAS 200 DONNEES, MAIS 199 DONNEES

CANAL 9 SET NO 40

1	152	+
1	153	+
2	154	++
2	155	++
4	156	++++
1	157	+
1	158	+
3	159	+++
6	160	+++++
4	161	++++
3	162	+++
5	163	++++
3	164	+++
1	165	+
8	166	+++++++
12	167	++++++++
8	168	+++++++
8	169	+++++++
9	170	+++++++
6	171	+++++
9	172	+++++++
13	173	+++++++
13	174	+++++++
14	175	+++++++
7	176	+++++
8	177	+++++
7	178	+++++
7	179	+++++
7	180	+++++
4	181	++++
2	182	++
4	183	++++
3	184	+++
3	185	+++
3	186	+++
4	187	++++
1	188	+
1	189	+
1	190	+
0	191	
0	192	
0	193	
0	194	
0	195	
1	196	+

M = 171,985 SIGMA = 8,233 VARIANCE = 67,784

CANAL 9 SET NO 45

1	179	+
0	180	
0	181	
1	182	*
2	183	++
0	184	
2	185	++
1	186	*
3	187	+++
3	188	+++
1	189	*
6	190	+++++
2	191	++
5	192	+++++
6	193	+++++
7	194	+++++
11	195	+++++++
7	196	+++++
13	197	+++++++
13	198	+++++++
25	199	+++++++
6	200	+++++
15	201	+++++++
12	202	+++++++
10	203	+++++++
9	204	+++++++
9	205	+++++++
4	206	++++
5	207	+++++
3	208	+++
2	209	++
6	210	+++++
0	211	
5	212	+++++
0	213	
1	214	+
1	215	+
1	216	+
1	217	+
0	218	
0	219	
0	220	
0	221	
1	222	+

M = 199,385

SIGMA = 6,806

VARIANCE = 46,318

CANAL 9 SET NO 50

1	216	+
1	217	+
0	218	
0	219	
1	220	+
4	221	++++
3	222	+++
8	223	+++++++
7	224	+++++++
8	225	+++++++
6	226	+++++
11	227	+++++++
10	228	+++++++
6	229	+++++
13	230	+++++++
6	231	+++++
14	232	+++++++
11	233	+++++++
7	234	+++++
14	235	+++++++
11	236	+++++++
12	237	+++++++
9	238	+++++++
5	239	+++++
6	240	+++++
6	241	+++++
5	242	+++++
2	243	++
2	244	++
2	245	++
0	246	
6	247	+++++
2	248	++
0	249	
0	250	
0	251	
0	252	
0	253	
0	254	
0	255	
0	256	
1	257	+

M = 232,745

SIGMA = 6,903

VARIANCE = 47,658

CANAL 10 SET NO 20

2	5	++
2	6	++
3	7	+++
10	8	+++++++
13	9	+++++++
14	10	+++++++
23	11	+++++++
20	12	+++++++
19	13	+++++++
25	14	+++++++
25	15	+++++++
16	16	+++++++
6	17	+++++
8	18	+++++
5	19	++++
2	20	++
3	21	++
2	22	++
1	23	+

M = 13,126 SIGMA = 3,426 VARIANCE = 11,737

IL N'Y A PAS 200 DONNEES, MAIS 199 DONNEES

CANAL 10 SET NO 25

1	45	+
1	46	+
1	47	+
3	48	++
4	49	+++
1	50	+
8	51	++++++
5	52	+++++
1	53	+
13	54	+++++++
10	55	++++++
10	56	++++++
10	57	++++++
10	58	++++++
13	59	++++++
13	60	++++++
9	61	++++++
10	62	++++++
13	63	++++++
8	64	++++++
10	65	++++++
8	66	++++++
5	67	++++
5	68	++++
5	69	++++
5	70	++++
8	71	++++++
3	72	++
2	73	++
1	74	+
3	75	++
1	76	+

M = 60,555 SIGMA = 6,631 VARIANCE = 43,967

CANAL 10 SET NO 30

1	57	+
0	58	
0	59	
0	60	
0	61	
1	62	+
0	63	
0	64	
0	65	
1	66	+
0	67	
0	68	
2	69	++
2	70	++
1	71	+
0	72	
1	73	+
5	74	+++++
2	75	++
5	76	+++++
4	77	++++
2	78	++
3	79	+++
3	80	+++
5	81	+++++
5	82	+++++
5	83	+++++
3	84	+++
4	85	++++
3	86	+++
7	87	+++++++
7	88	+++++++
5	89	+++++
4	90	++++
5	91	+++++
4	92	++++
11	93	+++++++
6	94	+++++
6	95	+++++
12	96	+++++++
7	97	+++++
7	98	+++++
6	99	+++++
11	100	+++++++
6	101	+++++
4	102	++++
3	103	+++
6	104	+++++
2	105	+
7	106	+++++
3	107	+++
3	108	+++
2	109	++
1	110	+
4	111	++++
1	112	+
1	113	+
0	114	
1	115	+

CANAL 10 SET NO 35

```

1      112  *
0      113
1      114  *
1      115  *
1      116  *
1      117  *
2      118  **
2      119  **
9      120  ++++++
4      121  +++++
3      122  +++++
1      123  *
4      124  +++++
10     125  ++++++
3      126  +++++
12     127  ++++++
14     128  ++++++
12     129  ++++++
11     130  ++++++
7      131  ++++++
11     132  ++++++
7      133  ++++++
6      134  ++++++
10     135  ++++++
8      136  ++++++
7      137  ++++++
7      138  ++++++
11     139  ++++++
8      140  ++++++
8      141  ++++++
3      142  +++++
3      143  +++++
2      144  **
4      145  +++++
2      146  **
3      147  +++++
1      148  *

```

M = 131,835 SIGMA = 7,516 VARIANCE = 56,490

CANAL 10 SET NO 40

```

2      156  **
0      157
2      158  **
2      159  **
1      160  *
2      161  **
10     162  ++++++
10     163  ++++++
10     164  ++++++
8      165  ++++++
4      166  +++++
8      167  ++++++
10     168  ++++++
8      169  ++++++
7      170  ++++++
4      171  +++++
16     172  ++++++
9      173  ++++++
15     174  ++++++
11     175  ++++++
7      176  ++++++
10     177  ++++++
10     178  ++++++
6      179  ++++++
4      180  +++++
3      181  +++++
4      182  +++++
2      183  **
2      184  **
3      185  +++++
0      186
3      187  +++++
2      188  **
2      189  **
1      190  *
0      191
0      192
0      193
1      194  *

```

M = 171,775 SIGMA = 7,376 VARIANCE = 54,398

CANAL 10 SET NO 45

1	176	+
0	177	
0	178	
0	179	
1	180	+
1	181	+
0	182	
0	183	
0	184	
4	185	++++
1	186	+
1	187	+
1	188	+
3	189	+++
3	190	+++
3	191	+++
7	192	++++++
4	193	++++
5	194	+++++
9	195	+++++++
5	196	+++++
6	197	+++++
11	198	+++++++
5	199	+++++
4	200	++++
8	201	+++++++
10	202	+++++++
11	203	+++++++
10	204	+++++++
13	205	+++++++
10	206	+++++++
14	207	+++++++
10	208	+++++++
5	209	+++++
8	210	+++++++
8	211	+++++++
3	212	+++
3	213	+++
3	214	+++
4	215	++++
3	216	+++
2	217	++

M = 202.000 SIGMA = 7.877 VARIANCE = 62.050

CANAL 10 SET NO 50

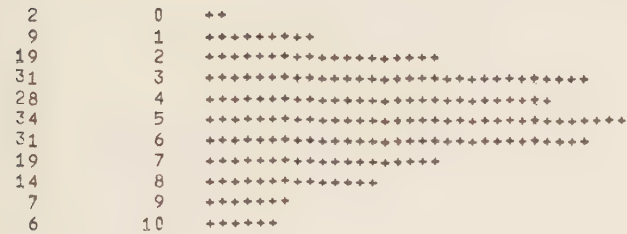
1	213	+
0	214	
1	215	+
0	216	
1	217	+
2	218	++
3	219	+++
1	220	+
4	221	++++
7	222	++++++
7	223	++++++
7	224	++++++
7	225	++++++
11	226	+++++++
7	227	++++++
10	228	+++++++
9	229	+++++++
9	230	+++++++
13	231	+++++++
12	232	+++++++
11	233	+++++++
10	234	+++++++
8	235	+++++++
12	236	+++++++
7	237	++++++
5	238	+++++
8	239	+++++++
9	240	+++++++
5	241	+++++
4	242	++++
1	243	+
1	244	+
0	245	
2	246	++
0	247	
3	248	+++
1	249	+
1	250	+

M = 231,520

SIGMA = 7,002

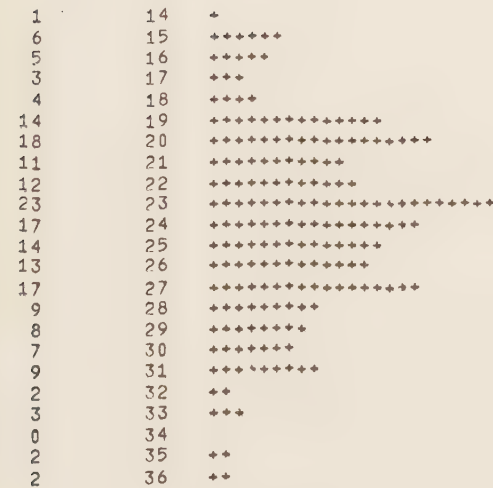
VARIANCE = 49,025

CANAL 11 SET NO 15



M = 4.980 SIGMA = 2.272 VARIANCE = 5.071

CANAL 11 SET NO 20



M = 23.950 SIGMA = 4.573 VARIANCE = 20.912

CANAL 11 SET NO 25

1	31	+
0	32	
0	33	
0	34	
2	35	++
0	36	
2	37	++
0	38	
4	39	++++
1	40	+
2	41	++
2	42	++
6	43	++++++
9	44	+++++++
6	45	++++++
14	46	+++++++
13	47	+++++++
7	48	++++++
8	49	+++++++
7	50	++++++
9	51	+++++++
10	52	+++++++
9	53	+++++++
12	54	+++++++
8	55	+++++++
7	56	+++++++
7	57	+++++++
9	58	+++++++
4	59	++++
4	60	++++
9	61	+++++++
2	62	++
6	63	+++++
5	64	+++++
1	65	+
5	66	++++
0	67	
4	68	++++
2	69	++
0	70	
2	71	++
0	72	
0	73	
1	74	+

M = 52,595

SIGMA = 7,954

VARIANCE = 63,267

CANAL 11 SET NO 30

1	75	+
3	76	+++
2	77	++
1	78	+
1	79	+
2	80	++
3	81	+++
9	82	+++++++
3	83	+++
8	84	+++++++
5	85	++++
9	86	+++++++
13	87	+++++++
17	88	+++++++
9	89	+++++++
7	90	+++++
7	91	+++++
7	92	+++++
15	93	+++++++
12	94	+++++++
8	95	+++++
6	96	++++
10	97	+++++++
9	98	+++++++
2	99	++
8	100	+++++
4	101	+++
8	102	+++++
4	103	+++
1	104	+
2	105	++
1	106	+
1	107	+
0	108	
1	109	+
0	110	
0	111	
0	112	
1	113	+

M = 91,520 SIGMA = 7,114 VARIANCE = 50,603

CANAL 11 SET NO 35

1	107	+
0	108	
0	109	
1	110	+
0	111	
0	112	
0	113	
1	114	+
2	115	++
2	116	++
1	117	+
7	118	++++++
5	119	+++++
4	120	++++
6	121	+++++
7	122	++++++
11	123	++++++++
10	124	+++++++
14	125	++++++++
9	126	+++++++
12	127	+++++++
9	128	+++++++
10	129	+++++++
10	130	+++++++
10	131	+++++++
14	132	+++++++
8	133	+++++++
13	134	+++++++
8	135	+++++++
4	136	++++
8	137	+++++
4	138	++++
1	139	+
3	140	+++
1	141	+
4	142	++++

M = 128,190

SIGMA = 6,517

VARIANCE = 42,466

CANAL 11 SET NO 40

3	157	+++
1	158	+
1	159	+
0	160	
2	161	++
1	162	+
2	163	++
3	164	+++
3	165	+++
10	166	+++++++
7	167	+++++++
6	168	+++++
10	169	+++++++
5	170	+++++
5	171	+++++
6	172	+++++
6	173	+++++
8	174	+++++++
6	175	+++++
8	176	+++++++
13	177	+++++++
8	178	+++++++
3	179	+++
3	180	+++
8	181	+++++++
3	182	+++
3	183	+++
7	184	+++++++
7	185	+++++++
3	186	+++
7	187	+++++++
5	188	+++++
7	189	+++++++
2	190	++
3	191	+++
7	192	+++++++
2	193	++
3	194	+++
2	195	++
6	196	+++++
0	197	
1	198	+
2	199	++
1	200	+

M = 178,000 SIGMA = 10,026 VARIANCE = 100,515

IL N'Y A PAS 200 DONNEES, MAIS 199 DONNEES

CANAL 11 SET NO 45

1	203	+
0	204	
0	205	
0	206	
0	207	
0	208	
0	209	
0	210	
0	211	
0	212	
0	213	
0	214	
0	215	
2	216	++
1	217	+
0	218	
3	219	+++
1	220	+
5	221	++++
2	222	++
3	223	+++
8	224	+++++++
10	225	+++++++
8	226	+++++++
6	227	+++++
9	228	+++++++
14	229	+++++++
15	230	+++++++
12	231	+++++++
13	232	+++++++
16	233	+++++++
13	234	+++++++
10	235	+++++++
8	236	+++++++
10	237	+++++++
2	238	++
7	239	+++++
3	240	+++
6	241	+++++
1	242	+
2	243	++
2	244	++
4	245	++++
0	246	
1	247	+
2	248	++
1	249	+
1	250	+

M = 231.614

SIGMA = 6.807

VARIANCE = 46.338

IL N'Y A PAS 200 DONNEES, MAIS 212 DONNEES

CANAL 11 SET NO 50

1	253	+
3	254	+++
3	255	+++
7	256	++++++
5	257	+++++
11	258	+++++++
15	259	+++++++
20	260	+++++++
9	261	+++++++
14	262	+++++++
19	263	+++++++
17	264	+++++++
15	265	+++++++
9	266	+++++++
18	267	+++++++
15	268	+++++++
3	269	+++
5	270	+++++
3	271	+++
3	272	+++
1	273	+
3	274	+++
1	275	+

M = 263.165 SIGMA = 4.491 VARIANCE = 20.169

CANAL 12 SET NO 20

1	13	+
2	14	++
4	15	+++
3	16	+++
3	17	+++
9	18	+++++
4	19	++++
14	20	+++++
13	21	+++++
18	22	+++++
19	23	+++++
21	24	+++++
13	25	+++++
19	26	+++++
19	27	+++++
11	28	+++++
6	29	++++
10	30	+++++
3	31	+++
3	32	+++
0	33	
0	34	
3	35	+++
0	36	
1	37	+
0	38	
1	39	+

M = 24.060 SIGMA = 4.416 VARIANCE = 19.504

CANAL 12 SET NO 25

1	48	+
1	49	+
0	50	
2	51	++
3	52	+++
1	53	*
4	54	++++
9	55	+++++++
6	56	+++++
6	57	+++++
13	58	+++++++
9	59	+++++++
12	60	+++++++
11	61	+++++++
13	62	+++++++
12	63	+++++++
16	64	+++++++
8	65	+++++
12	66	+++++++
6	67	+++++
9	68	+++++++
8	69	+++++
3	70	+++
9	71	+++++++
8	72	+++++++
2	73	++
2	74	++
4	75	++++
5	76	++++
1	77	+
1	78	+
0	79	
0	80	
1	81	+
0	82	
1	83	+
0	84	
0	85	
0	86	
0	87	
0	88	
1	89	+

M = 63,720

SIGMA = 6,700

VARIANCE = 44,886

CANAL 12 SET NO 30

1	81	+
0	82	
0	83	
0	84	
0	85	
0	86	
1	87	+
1	88	+
1	89	+
1	90	+
2	91	++
0	92	
0	93	
5	94	++++
3	95	+++
5	96	++++
3	97	+++
4	98	++++
8	99	+++++
12	100	+++++
10	101	+++++
9	102	+++++
12	103	+++++
9	104	+++++
11	105	+++++
14	106	+++++
18	107	+++++
10	108	+++++
10	109	+++++
5	110	++++
8	111	++++
2	112	++
6	113	++++
3	114	+++
4	115	+++
4	116	+++
5	117	++++
4	118	+++
3	119	++
1	120	*
2	121	++
0	122	
0	123	
2	124	++
1	125	*

M = 105,585 SIGMA = 7,360 VARIANCE = 54,164

CANAL 12 SET NO 35

2	137	++
2	138	++
1	139	+
4	140	++++
2	141	++
5	142	+++++
2	143	++
4	144	++++
5	145	+++++
3	146	+++
7	147	+++++++
8	148	+++++++
9	149	+++++++
11	150	+++++++
12	151	+++++++
9	152	+++++++
9	153	+++++++
11	154	+++++++
9	155	+++++++
8	156	+++++++
11	157	+++++++
12	158	+++++++
7	159	+++++++
5	160	+++++
7	161	+++++
7	162	+++++
6	163	+++++
2	164	++
3	165	+++
3	166	+++
5	167	+++++
2	168	++
2	169	++
1	170	+
2	171	++
2	172	++

M = 154.125

SIGMA = 7.670

VARIANCE = 58.823

CANAL 12 SET NO 40

2	185	++
2	186	++
2	187	++
4	188	++++
1	189	+
3	190	+++
4	191	++++
6	192	+++++
7	193	+++++
6	194	+++++
7	195	+++++
10	196	+++++
11	197	+++++
14	198	+++++
16	199	+++++
9	200	+++++
9	201	+++++
10	202	+++++
12	203	+++++
7	204	+++++
5	205	++++
11	206	+++++
9	207	+++++
10	208	+++++
4	209	++++
6	210	+++++
3	211	+++
2	212	++
5	213	++++
1	214	+
0	215	
1	216	+
0	217	
0	218	
0	219	
0	220	
0	221	
0	222	
1	223	+

M = 200,520 SIGMA = 6,787 VARIANCE = 46,070

CANAL 12 SET NO 45

1	207	+
0	208	
0	209	
0	210	
0	211	
0	212	
0	213	
0	214	
0	215	
1	216	+
0	217	
0	218	
0	219	
0	220	
0	221	
1	222	+
1	223	+
0	224	
0	225	
2	226	++
1	227	=
4	228	++++
6	229	+++++
8	230	++++++
1	231	+
11	232	+++++++
12	233	+++++++
13	234	+++++++
12	235	+++++++
10	236	+++++++
16	237	+++++++
15	238	+++++++
11	239	+++++++
20	240	+++++++
10	241	+++++++
9	242	+++++++
15	243	+++++++
7	244	+++++
4	245	+++
3	246	++
3	247	++
0	248	
0	249	
1	250	+
0	251	
1	252	+
0	253	
1	254	+

M = 237,105

SIGMA = 5,875

VARIANCE = 34,517

CANAL 12 SET NO 50

3	252	+++
1	253	+
2	254	++
2	255	++
2	256	++
4	257	++++
4	258	++++
7	259	++++++
4	260	++++
8	261	++++++
7	262	++++++
5	263	++++
20	264	+++++
19	265	+++++
17	266	+++++
17	267	+++++
12	268	+++++
11	269	+++++
12	270	+++++
8	271	+++++
8	272	+++++
8	273	+++++
7	274	+++++
5	275	++++
0	276	
2	277	++
3	278	++
1	279	+
0	280	
1	281	+

M = 266,245 SIGMA = 5,561 VARIANCE = 30,930

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

Première partie :

DESCRIPTION DU MODELE PROBABILISTE DES MECA- NISMES PERCEPTIFS PROPOSE PAR JEAN PIAGET

	page
I — APERÇU HISTORIQUE	3
II — LES CONCEPTS FONDAMENTAUX	4
1 — La perception est une activité	4
2 — L'activité perceptive est déformante	4
3 — Les déformations perceptives sont de deux espèces	5
III — LE MODELE PROBABILISTE	7
1 — L'Erreur Élémentaire I et les "rencontres"	7
2 — L'Erreur Élémentaire II et les "couplages"	10
3 — La Loi des Centractions Relatives	13

Deuxième partie :

REFORMULATION DU MODELE PIAGETIEN ET POSITION DES HYPOTHESES DE TRAVAIL

I — REFORMULATION PROBABILISTE DU MODELE DES "RENCONTRES" ET DES "COUPLAGES"	18
1 — Redéfinition des concepts	18
2 — Formalisation du processus des rencontres	19
3 — Formalisation du processus des couplages	21
4 — Exemples numériques	24
II — SPECIFICATION DES HYPOTHESES DE TRAVAIL	28
1 — Où l'expérimentation est possible	28
2 — Ce qui a déjà été fait	30
3 — Ce qui resterait à faire	32
4 — Ce que nous nous proposons de faire	34

Troisième partie :

TECHNIQUES D'EXPERIMENTATION ET D'ANALYSE DES RESULTATS

	page
I — L'APPAREILLAGE EXPERIMENTAL	39
1 — Description de l'appareil	39
2 — Etalonnage de l'appareil	41
II — LA TECHNIQUE EXPERIMENTALE	42
1 — Déroulement de l'expérimentation	42
2 — Conditions expérimentales particulières	43
III — LA TECHNIQUE DE DEPOUILLEMENT ET D'ANALYSE STATISTIQUE DES RESULTATS	46
1 — Nature statistique de la tâche proposée	46
2 — La Théorie de la Détection de Signaux	48
3 — Application des méthodes de la TDS à notre situation	57

Quatrième partie :

DONNEES EXPERIMENTALES

I — POPULATION ETUDIEE	73
II — RESULTATS GLOBAUX	73
III — RESULTATS DETAILLES	79
1 — Groupe "Adultes 1"	79
2 — Groupe "Adultes 2"	83
3 — Groupe "Enfants 12"	86
4 — Groupe "Enfants 10"	87
5 — Groupe "Enfants 8"	92
6 — Utilisation des niveaux de certitude	94
7 — Observations cliniques	96

Cinquième partie :

INTERPRETATION ET CONCLUSIONS

	page
I – INTERPRETATION DES RESULTATS EXPERIMENTAUX .	99
1 – Indices de sensibilité et modèle piagétien	99
2 – Variations génétiques éventuelles	102
3 – Interprétations alternatives	103
II – CONCLUSIONS	105
BIBLIOGRAPHIE	109

APPENDICE A

I – EXEMPLE DE PROCEDURE D'ANALYSE	115
II – EXEMPLE DE DEPOUILLEMENT "CLASSIQUE" . . .	124

APPENDICE B

ETALONNAGES DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL	127
--	-----

